



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA
DOCTORADO EN GEOGRAFÍA**

**EL CLIMA URBANO DE LA CIUDAD
DE NATAL (BRASIL),
APLICANDO MODELOS DE CAMPO
Y TELEDETECCIÓN ORBITAL**

Doctorando:

MALCO JEIEL DE OLIVEIRA ALEXANDRE

Director:

DR. FELIPE FERNÁNDEZ GARCÍA

Madrid, 2013

MALCO JEIEL DE OLIVEIRA ALEXANDRE

**EL CLIMA URBANO DE LA CIUDAD DE NATAL (BRASIL),
APLICANDO MODELOS DE CAMPO Y TELEDETECCIÓN
ORBITAL**

Tesis doctoral bajo la dirección del Profesor Doctor
Catedrático Felipe Fernández García, del Departamento de
Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad
Autónoma de Madrid

Madrid, 2013

Oliveira Alexandre, M. J. de.

El clima urbano de la ciudad de Natal (Brasil), aplicando modelos de campo y teledetección orbital. / Malco Jeiel de Oliveira Alexandre; Director Felipe Fernández García. Madrid, 2013.

348 pp

Tesis Doctoral. Departamento de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid.

A IZA

AGRADECIMIENTOS

A Dios, mi esposa Iza y hijos Emily y Malco Junior. A mis padres Ladislau y Alina (in memorian).

Al Prof. Dr Felipe Fernández director del presente trabajo, por su total apoyo y siempre presente orientaciones y sus valiosas sugerencias.

Quiero expresar mi agradecimiento a las siguientes personas e instituciones que han facilitado la realización de la presente Tesis:

A todos los Colaboradores del IFRN, estudiantes Luciana, Josineide, Paloma y Glicia; Profa Maria Velasco, Valmir mi "brazo derecho", Francisco de Assis, Jorge Paulino, Alessandra Gabino, Maxwell Pedro y los motoristas.

Al IFRN Reitor Belchior, Prof. Gerson, Profa Cristina, Profa Adriana, Prof. Claudio, Prof Gustavo, Prof. Lerson, Gilberto Baccelli, Dodora, Frankleide, Prof. Leao, Profa Andréa y a todos mis companheiros de la Geografia del IFRN.

A todos los Profesores del Departamento de Geografia y Ordenación del Território de la UAM durante las clases del Máster en Planificación y Desarrollo Territorial Sostenible. Al Jorge Alcade, Raquel Gil, Rodrigo Rodriguez Martin del Laboratorio de Geografia Aplicada de la UAM. A Pilar Gonzáles Secretária del Departamento de Geografia. A todos los "Masterizados" compañeros y pioneros del Máster 2009-2011 de Geografía de la UAM..

A UFRN al Prof. Dr Elias Nunes por su total apoyo, al Sávio, Prof. Fernando Moreira, Prof. Germano Melo, Profa. Socorro Martin, Prof. Aldomar y Prof Severino.

Al Ricardo y todo equipo del CLBI de Natal, al INMET de Brasilia, al J Couto del ICEA São Jose dos Campos. Al Darlington con material suplementar, al Dario con las fotografías, al Milton Segundo.

Mis familiares, los hermanos Lemuel, Mario, Lael y Eliel y familiares. Las primas Juliana y Katia con dados de la UNB Brasilia. A Dona Helena (in memorian), Roberiana y familiares.

A todos mis amigos de Madrid, a Nazaré y família, Fernando Mendéz y todos de la IBBP. Y en general, a todos los compañeros que de forma directa o indirecta me han facilitado el desarrollo del trabajo.

MUCHAS GRACIAS! MUITO OBRIGADO! Servidor Malco

"El Señor no retarda su promesa, según algunos la tienen por tardanza, sino que es paciente para con nosotros, no queriendo que ninguno perezca, sino que todos procedan al arrepentimiento. Pero el día del Señor vendrá como ladrón en la noche; entonces los cielos pasarán con grande estruendo, y los elementos ardiendo serán deshechos, y la tierra y las obras que en ella hay serán quemadas" 2 Pedro 3:9-10

RESUMEN

La acción humana es el principal agente causante de los cambios en la naturaleza y eso ocurre en diferentes escalas espaciales y temporales. A gran escala, el mejor ejemplo de acción directa del hombre es el cambio climático global, a pequeña escala es el caso del clima urbano. La ciudad es el espacio más representativo de las transformaciones de la acción humana en la naturaleza, bien representadas por la compleja estructura urbana. Esto por su parte influye artificial y directamente en el clima urbano promoviendo oscilaciones atmosféricas locales, especialmente las islas térmicas. Esta investigación tuvo como objetivo analizar el ritmo del clima urbano de la ciudad de Natal (Brasil) en el espacio-tiempo a través de modelos y técnicas de campo y de teledetección orbital, en los niveles de las temperaturas del aire y superficial interurbana como extraurbana. La metodología utilizada para cuantificar y analizar el clima urbano y la formación de las islas de calor dentro de un espacio urbano y periurbano están formadas por las series largas correspondientes al período de 1995 a 2010, los transectos móviles de los años 2011, 2012, 2013 y dado histórico de 1990, la teledetección con las imágenes satelitales y del régimen bioclimático de la ciudad de Natal. Los resultados de este estudio demostraron que el ambiente térmico de la ciudad de Natal está influido por su morfología urbana. El periodo entre 1995-2010 presenta la formación de dos tipos de islas de calor, una débil con una temperatura del aire $0,9^{\circ}\text{C}$ y otra moderada con valores por encima de 2°C . La configuración de las ICUA en el área urbana de la ciudad es policéntrica, localizadas en las áreas más densamente ocupadas las zonas Centro, Norte y Sur. Los resultados muestran que las islas de frescor están directamente relacionadas con las áreas de vegetación densa y los parques urbanos. Las mayores intensidades de las islas de calor se producen en el período de la tarde, seguido por las mañanas y las noches. Estacionalmente es durante el verano y la primavera cuando se alcanzan las mayores intensidades, seguidas por el otoño y el invierno. Destacaron el sorprendente crecimiento horizontal de la zona Norte y vertical de las zonas Sur y Centro, la zona Oeste es la frente de desarrollo más reciente, además del proceso de conurbación con el municipio limítrofe de Parnamirim. Se verifica una pérdida considerable de vegetación entre 1984 y 2013 en las cuatro zonas de la ciudad. En consecuencia, este fenómeno de la ampliación del área urbana atrofia el área verde natural influyendo en el clima local con la formación de las islas de calor urbanas.

Palabras clave: Clima Urbano, Isla de Calor, Isla de Frescor, Bioclima (UTCI), Natal (Brasil), Teledetección Orbital

ABSTRACT

Human action is the main causative agent of changes in the nature and it happens at different spatial and temporal scales. At a large scale, the best example of direct action of man is the global climate change and to small scales in the case of the urban climate. The city is the most representative human action in transforming nature, well represented by the complex structure urban space. This in turn artificial and directly influences on urban climate promoting local atmospheric oscillations, especially heat islands. This research aimed to analyze the rhythm of the urban climate of the city of Natal (Brazil) in space-time through modeling and field techniques and orbital remote sensing at the levels of air and surface temperatures as exurban toll. The methodology used to quantify and analyze the urban climate and the formation of heat islands in urban and peri-urban areas are formed by the long series for the period 1995-2010, the mobile transects of the years 2011, 2012, 2013 and 1990, the remote sensing satellite images and bioclimatic system of the city of Natal. The results of this study demonstrated that the thermal environment of the city of Natal is influenced by its urban morphology. The period between 1995-2010 show the formation of two types of heat islands, one weak with an air temperature of 0.9°C and one moderate with values above 2°C . The configuration of the ICUA in the urban area of the city is polycentric, located in the most densely occupied areas: Central, North and South. The results show that the islands of coolness are directly related to the areas of dense vegetation and urban parks. The higher intensities of heat islands occur in the afternoon period, followed by morning and evening. Attending to the seasons it is during the summer and spring when higher intensities are reached, followed by autumn and winter. It is highlighted the striking horizontal growth of the North and the vertical growth of the South and Central zones, -the west side is the most recent development-, and the process of conurbation with the neighboring town of Parnamirim. Considerable loss of vegetation between 1984 and 2013 in the four areas of the city is verified. Consequently, this phenomenon of urban expansion atrophy natural green area influencing the local climate with the formation of urban heat islands.

Keywords: Urban Climate, Urban Heat Island, Urban Cool Island, Bioclimate (UTCI), Natal (Brazil), Orbital Remote Sensing.

ÍNDICE

Índice de figuras.....	13
Índice de tablas.....	22
Índice de Cuadros.....	23
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	25
1.1. ANTECEDENTES.....	25
1.2. ÁREA DE ESTUDIO.....	29
1.3. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	34
1.4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	38
1.5. METODOLOGÍA.....	39
1.6. ORGANIZACIÓN Y PLAN DE EXPOSICIÓN.....	44
CAPÍTULO 2. EL CLIMA URBANO EN EL CONTEXTO DE LA CLIMATOLOGÍA ACTUAL.....	47
2.1 INTRODUCCIÓN.....	47
2.2. RECAPITULACIÓN CONCEPTUAL.....	47
2.3. CLIMA URBANO Y LAS PRINCIPALES LINEAS DE INVESTIGACIÓN.....	56
2.4. BREVE RESUMEN DE ESTUDIOS DE CLIMA URBANO EN BRASIL.....	61
2.4.1. Estudios de clima sobre Natal.....	64
2.4.2. Estudios de confort térmico con el UTCI en el mundo y en Brasil.....	66
2.5. CONCLUSIÓN.....	68
PARTE I - NATAL Y EL PROCESO DE URBANIZACIÓN.....	70
CAPÍTULO 3. EL PROCESO DE URBANIZACIÓN DE LA CIUDAD DE NATAL.....	71
3.1. INTRODUCCIÓN.....	71
3.2. MARCO URBANO.....	71
3.3. MARCO MORFOLÓGICO.....	75
3.3.1. Las transformaciones urbanas en Natal a partir del análisis de las imágenes satelitales de 1984 a 2012.....	84
3.3.2. Evolución de la zona edificada de Natal a partir de las análisis de las imágenes Landsat, de 1984 a 2013.....	89
3.3.3. Uso del suelo urbano de Natal.....	93
3.4. MARCO CLIMÁTICO.....	97
3.4.1. Rasgos generales.....	97
3.4.2. Sistemas sinópticos.....	98
3.4.3. Elementos del clima Local.....	102
3.5. CONCLUSIÓN.....	104
PARTE II - LA ISLA DE CALOR URBANA.....	107
CAPÍTULO 4. CARACTERÍSTICAS Y EVOLUCIÓN DE LAS ISLAS DE CALOR URBANAS DE NATAL DEL PERIODO DE 1995-2010.....	108
4.1. INTRODUCCIÓN.....	108
4.2. METODOLOGÍA.....	108

4.3. LA ISLA DE CALOR DIURNA Y NOCTURNA DE LAS SÉRIES LARGAS DEL OBSERVATÓRIO DE NATAL Y AEROPUERTO.....	109
4.4. LA INTENSIDAD Y FRECUENCIA DE LAS ISLAS DE CALOR ANUAL Y MENSUAL DE NATAL (1995-2010)	113
4.5. CONCLUSIÓN.....	120

CAPÍTULO 5. LA DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA ISLA DE CALOR URBANA ATMOSFÉRICA DE NATAL.....

5.1. INTRODUCCIÓN.....	121
5.2. METODOLOGÍA.....	121
5.3. LA DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LAS ISLAS DE CALOR URBANAS ATMOSFÉRICAS (ICUA) DE NATAL.....	130
5.3.1. La isla de calor urbana atmosférica de Natal en Invierno.....	130
5.3.2. La isla de calor urbana atmosférica de Natal en Primavera.....	140
5.3.3. La isla de calor urbana atmosférica de Natal en Verano.....	151
5.3.4. La isla de calor urbana atmosférica de Natal en Otoño.....	162
5.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TEMPERATURAS ATMOSFÉRICAS (TA) DE NATAL ENTRE 1990 Y 2012.	168
5.4.1. La isla de calor urbana atmosférica de Natal en 1990 y 2012.....	168
5.4.2. Síntesis del historial de las temperaturas atmosféricas de Natal entre 1990 y 2012..	175
5.5. CONCLUSIÓN.....	176

CAPÍTULO 6. EL COMPORTAMIENTO ESPACIO-TEMPORAL DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE SUPERFICIE DE NATAL.....

6.1. INTRODUCCIÓN.....	181
6.2. METODOLOGÍA.....	181
6.3. LA DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LAS ISLAS DE CALOR DE SUPERFICIE (ICUS) DE NATAL.....	192
6.3.1. La isla de calor urbana superficial de Natal en Invierno.....	192
6.3.1.1. Correlaciones entre las temperaturas del aire (TA) y las temperaturas de la superficie (TS) de Natal en invierno.....	195
6.3.1.2. La caracterización de la isla de calor urbana superficial de Natal en Invierno.....	196
6.3.2. La isla de calor urbana superficial de Natal en Primavera.....	198
6.3.2.1. Correlaciones entre las temperaturas del aire (TA) y las temperaturas de la superficie (TS) de Natal en Primavera.....	200
6.3.2.2. La caracterización de la isla de calor urbana superficial de Natal en Primavera.....	201
6.3.3. La isla de calor urbana superficial de Natal en Verano.....	204
6.3.3.1. Correlaciones entre las temperaturas del aire (TA) y las temperaturas de la superficie (TS) de Natal en Verano.....	206
6.3.3.2. La caracterización de la isla de calor urbana superficial de Natal en Verano.....	207
6.3.4. Temperatura de superficie de Natal en Otoño.....	210
6.3.4.1. Correlaciones entre las temperaturas del aire (TA) y las temperaturas de la superficie (TS) de Natal en Otoño.....	211
6.3.4.2. La caracterización de la isla de calor urbana superficial de Natal en Otoño...213	

6.4. EVOLUCIÓN HISTÓRICA ENTRE LAS ISLAS DE CALOR URBANAS SUPERFICIAL (ICUS) DE NATAL, 1990 Y 2012.....	215
6.4.1. Correlaciones entre las temperaturas del aire (TA) y las temperaturas de la superficie (TS) de Natal de 1990.....	218
6.4.2. La caracterización la isla de calor urbana superficial de Natal de la evolución histórica de entre 1990 y 2012.....	221
6.5. COMPARACIÓN ENTRE LA ICUS Y LA ICUA DE LA CIUDAD DE NATAL.....	224
6.5.1. Las zonas térmicas de las temperaturas superficiales (TS) de Natal.....	224
6.5.2. Las islas de calor urbanas superficiales (ICUS) de Natal.....	225
6.6. CONCLUSIÓN.....	232
PARTE III - EL RÉGIMEN BIOCLIMÁTICO.....	234
CAPÍTULO 7. EL RÉGIMEN BIOCLIMÁTICO MEDIO DE LA CIUDAD DE NATAL.....	235
7.1. INTRODUCCIÓN.....	235
7.2. METODOLOGÍA.....	236
7.3. EL RÉGIMEN BIOCLIMÁTICO MEDIO DE NATAL A PARTIR DE LAS SERIES DIARIAS DEL PERÍODO DE 1995 A 2010.....	237
7.3.1. Año bioclimático medio y la variabilidad de las diferentes sensaciones en el periodo 1995-2010.....	238
7.3.2. La evolución del régimen bioclimático medio mensual y estacional de Natal a lo largo del periodo 1995 a 2010.....	243
7.4. LA VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL DE LAS SENSACIONES DE CONFORT TÉRMICO DE NATAL A PARTIR DE LOS TRANSECTOS DE 2011, 2012 Y 2013.....	246
7.4.1. Sensación térmica de Natal en Invierno.....	246
7.4.1.1. Patrones de distribución espacial del confort térmico de Invierno.....	247
7.4.2. Sensación térmica de Natal en Primavera.....	253
7.4.2.1. Patrones de distribución espacial del confort térmico de Primavera.....	254
7.4.3. Sensación térmica de Natal en Verano.....	260
7.4.3.1. Patrones de distribución espacial del confort térmico de Verano.....	261
7.4.4. Sensación térmica de Natal en Otoño.....	266
7.4.4.1. Patrones de distribución espacial del confort térmico de Otoño.....	266
7.5. CONCLUSIÓN.....	270
CAPÍTULO 8. RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	273
8.1. CONCLUSIONES.....	273
8.2. PROPUESTAS.....	278
BIBLIOGRAFÍA.....	280
APÉNDICES.....	291
APÉNDICE A - TEMPERATURAS DEL AIRE DE LOS PUNTOS DE MEDIDA EN LOS TRANSECTOS MÓVILES.....	293
APENDICE B - INTENSIDAD DE LA ISLAS DE CALOR ATMOSFÉRICA EN LOS DIFERENTES PUNTOS DE LOS RECORRIDOS TÉRMICOS, A LO LARGO DEL AÑO.....	311

APÉNDICE C - PANORÁMICA DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	321
APENDICE D - EQUIPO DE INVESTIGACION Y LOS INSTRUMENTOS.....	325

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Cambio experimentado por la temperatura a nivel mundial y continental. Fuente IPCC, 2013.....	28
Figura 1.2 - Mapa de localización del área de estudio, Natal, RN, Brasil. Fuente: IBGE, 2013.....	30
Figura 1.3 - Población del Estado del Rio Grande do Norte y de la Ciudad de Natal (1872-2010). Fuente: IBGE, 2013.....	31
Figura 1.4 - Mapa del usos del suelo de la ciudad de Natal, Brasil.....	33
Figura 1.5 - Los factores y interrelaciones del clima urbano. Fuente: Wypych; Bokwa (2004).....	39
Figura 2.1 - Variación de la temperatura diurna en invierno en la capa límite del planeta. Fuente: Henderson-Sellers, A.; McGuffie, K. 1990.....	50
Figura 2.2 - Representación de los principales elementos de la atmósfera urbana. Fuente: Oke, 1987.....	51
Figura 3.1 - Total de la población de la ciudad de Natal, Brasil. Fuente: Brasil, IBGE, Censo Demográfico 1950-2010.....	73
Figura 3.2 - Tasa de crecimiento poblacional de la ciudad de Natal, Brasil. Fuente: Brasil, IBGE, Censo Demográfico 1950-2010.....	73
Figura 3.3 - Relación entre la población de total de la ciudad de Natal con la del Estado del Rio Grande do Norte, Brasil. Fuente: Brasil, IBGE, Censo Demográfico 1950-2010.....	74
Figura 3.4 - Mapa de la Región Metropolitana de Natal (RMN). Fuente: Prefeitura Municipal de Natal, 2013.....	75
Figura 3.5 - Divisiones administrativas de la ciudad de Natal. Fuente: Prefeitura Municipal de Natal, 2013.....	77
Figura 3.6 - Mapa de la zona Este o el Centro de la Ciudad de Natal. Fuente: Prefeitura Municipal de Natal, 2013.....	77
Figura 3.7 - Skyline del Centro de la ciudad de Natal, Brasil. Fuente: Cortesía del fotoperiodista Canindé Soares, http://canindesoares.com	78
Figura 3.8 - Vista panorámica de la ciudad de Natal, Brasil, en primer plano la Playa del Medio y en segundo plano los barrios de Petropolis y Tirol, 2013. Fuente: Cortesía del fotoperiodista Canindé Soares.....	79

Figura 3.9 - Mapa de la zona Sur de la Ciudad de Natal. Fuente: Prefeitura Municipal de Natal, 2013.....	80
Figura 3.10 - Vista panorámica de la zona Sur de la ciudad de Natal, Brasil, en primero plano el barrio de Neopolis, en segundo plano a la izquierda Capim Macio y al fondo a la derecha Ponta Negra, 2013. Fuente: Cortesía del fotoperiodista Canindé Soares,.....	81
Figura 3.11 - Mapa de la zona Oeste de la Ciudad de Natal. Fuente: Prefeitura Municipal de Natal, 2013.....	82
Figura 3.12 - Mapa de la zona Norte de la Ciudad de Natal. Fuente: Prefeitura Municipal de Natal, 2013.....	83
Figura 3.13 - Vista panorámica de la ciudad de Natal, Brasil, en primer plano la zona Norte, al centro el río Potengi y arriba el Centro, 2013. Fuente: Cortesía del fotoperiodista Canindé Soares.....	83
Figura 3.16 - Mapa del NDVI de la ciudad de Natal, Brasil, noviembre de 1984. Fuente: Imagen de Landsat, US Geological Survey.....	87
Figura 3.17 - Mapa del NDVI de la ciudad de Natal, Brasil, mayo de 1990. Fuente: Imagen de Landsat, US Geological Survey.....	87
Figura 3.18 - Mapa del NDVI de la ciudad de Natal, Brasil, septiembre de 2000. Fuente: Imagen de Landsat, US Geological Survey.....	88
Figura 3.19 - Mapa del NDVI de la ciudad de Natal, Brasil, enero de 2013. Fuente: Imagen de Landsat, US Geological Survey.....	88
Figura 3.20 - Mapa de la superficie urbana de la ciudad de Natal, Brasil, en color amarillo los diferentes momentos históricos, 1984, 1990, 2000 y 2013. Fuente: Imagen de Landsat, US Geological Survey.....	90
Figura 3.21 - Mapa de la superficie urbana de la ciudad de Natal, Brasil, en colores el conjunto de los diferentes momentos históricos, 1984, 1990, 2000 y 2013. Fuente: Imagen de Landsat, US Geological Survey.....	92
Figura 3.22 - Mapa del uso del suelo urbano de la ciudad de Natal, Brasil. Fuente: IDEMA/RN y SEMURB/Ayuntamiento de Natal.....	95
Figura 3.23- Mapa de las zonas de protección ambiental (ZPA) de la ciudad de Natal, Brasil. Fuente: Prefeitura Municipal de Natal, 2013.....	96
Figura 3.24 - Mapa de las unidades climáticas de Brasil. Fuente: IBGE 1997.....	98

Figura 3.25 - Mapa de la América del Sur con la imagen del satélite GOES en el mes de julio período de invierno. Fuente: CPTEC, INPE, 2013.....	99
Figura 3.26 - Mapa de la América del Sur con la imagen del satélite GOES en el mes de octubre período de primavera. Fuente: CPTEC, INPE, 2013.....	100
Figura 3.27 - Mapa de la América del Sur con la imagen del satélite GOES en el mes de enero período de verano. Fuente: CPTEC, INPE, 2013.....	101
Figura 3.28 - Mapa de la América del Sur con la imagen del satélite GOES en el mes de abril período de otoño. Fuente: CPTEC, INPE, 2013.....	102
Figura 3.29 - Diagrama Termopluviométrico de Natal. Fuente: Normales Climatológicas 1961-1990, INMET.....	103
Figura 3.30 - Mapa de la pluviometría del Estado del Rio Grande do Norte, promedio anual. Fuente: EMPARN, 2013.....	103
Figura 3.31 - Dirección predominante de los vientos el Natal. Fuente: Normales Climatológicas 1961-1990, INMET.....	104
Figura 4.1 – El promedio mensual de las temperaturas máximas de Natal y el aeropuerto, entre 1995 -2010. Fuente: INMET e ICEA.....	110
Figura 4.2 – El promedio mensual de las temperaturas mínimas de Natal y el aeropuerto, entre 1995-2010. Fuente: INMET e ICEA.....	111
Figura 4.3 - Histograma de frecuencia de las temperaturas máximas mensuales de Natal, entre 1995-2010. Fuente: INMET e ICEA.....	111
Figura 4.4 - Histograma de frecuencia de las temperaturas mínimas mensuales de Natal, entre 1995-2010. Fuente: INMET e ICEA.....	112
Figura 4.5 - Histograma de frecuencia de las temperaturas máximas mensuales del Aeropuerto de Natal, entre 1995-2010. Fuente: INMET e ICEA.....	112
Figura 4.6 Histograma de frecuencia de las temperaturas mínimas mensuales del Aeropuerto de Natal, entre 1995-2010. Fuente: INMET e ICEA.....	113
Figura 4.7 - Diferencias entre las temperaturas máximas y mínimas entre Natal y el aeropuerto, en el período 1995-2010. Fuente: INMET e ICEA.....	115
Figura 4.8 - Frecuencia de las diferencias entre las temperaturas máximas entre Natal y el aeropuerto, entre 1995-2010. Fuente: INMET e ICEA.....	116
Figura 4.9 - Frecuencia de las diferencias entre las temperaturas mínimas entre Natal y el aeropuerto, en el período 1995-2010. Fuente: INMET e ICEA.....	117

Figura 5.1 - Localización del límites de barrios de la ciudad de Natal, Brasil. Fuente: Prefeitura Municipal de Natal, 2013.....	122
Figura 5.2 - Localización del uso del suelo urbano con los puntos de mediciones de los transectos, Natal, Brasil. Fuente: IDEMA/RN y Prefeitura Municipal de Natal, 2013.....	123
Figura 5.3. Gráfico de dispersión de los Teste de Calibración de los Termohigrómetros, Estación Meteorológica del INMET Natal versus Skywatch A.....	124
Figura 5.4. Gráfico de dispersión de los test de calibración de los termohigrómetros, Estación Meteorológica del INMET Natal versus Skywatch B.....	124
Figura 5.5. Gráfico de dispersión de los dos puntos de control de los transectos R1.1 y R2.1.....	125
Figura 5.6. Islas de Calor Urbana Atmosféricas de Natal (ICUA) de invierno. Fuente: elaboración propia.....	132
Figura 5.7. Mapa de las Temperaturas Atmosférica de Natal (TA), 11 de julio de 2011, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	135
Figura 5.8. Mapa de la Temperatura atmosférica de Natal (TA), 11 de julio de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	136
Figura 5.9. Mapas de las Isla de Calor Urbana Atmosférica de Natal (ICUA), 11 de julio de 2011, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	138
Figura 5.10. Mapas de las Isla de Calor Urbana Atmosférica de Natal (ICUA), 11 de julio de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	139
Figura 5.11. Islas de Calor Urbana Atmosféricas de Natal (ICUA) de otoño. Fuente: elaboración propia.....	142
Figura 5.12. Mapa de la Temperatura atmosférica de Natal (TA), 6 de octubre de 2011, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	145
Figura 5.13. Mapa de la Temperatura atmosférica de Natal (TA), 24 de octubre de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	146
Figura 5.14. Mapas de las Isla de calor urbana atmosférica de Natal (ICUA), 6 de octubre de 2011, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	149
Figura 5.15. Mapas de las islas de calor urbana atmosféricas de Natal (ICUA), 24 de octubre de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	150
Figura 5.16. Islas de Calor Urbana Atmosféricas de Natal (ICUA) de verano. Fuente: elaboración propia.....	153

Figura 5.17. Mapa de la Temperatura atmosférica de Natal (TA), 26 de enero de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	156
Figura 5.18. Mapa de la Temperatura atmosférica de Natal (TA), 24 de enero de 2013, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	157
Figura 5.19. Mapas de las Isla de Calor Urbana Atmosférica de Natal (ICUA), 26 de enero de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	160
Figura 5.20. Mapas de las Isla de Calor Urbana Atmosférica de Natal (ICUA), 24 de enero de 2013, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	161
Figura 5.21. Islas de Calor Urbana Atmosféricas de Natal (ICUA) de otoño. Fuente: elaboración propia.....	163
Figura 5.22. Mapa de la Temperatura atmosférica de Natal (TA), 26 de abril de 2012, tarde. Fuente: elaboración propia.....	165
Figura 5.23. Mapas de Isla de Calor Urbana Atmosférica de Natal (ICUA), 26 de abril de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	167
Figura 5.24. Islas de Calor Urbana Atmosféricas de Natal (ICUA) de los transectos de las análisis comparativas de Natal entre 1990 y 2012. Fuente: Elaboración propia y Araujo, 1991.....	170
Figura 5.25. Mapa de la Temperatura atmosférica de Natal (TA), 26 de abril de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	173
Figura 5.26. Mapa de la Temperatura atmosférica de Natal (TA), 30 de marzo de 1990, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia. y Araujo (1991).....	174
Figura 5.27 - Historial de 22 años de temperaturas atmosféricas en Natal.....	175
Figura 6.1. Esquema del procesamiento de las imágenes Landsat, con adaptación. Fuente: Chuvieco (2012).....	185
Figura 6.2. El flujo de trabajo para la corrección de las imágenes Landsat. Fuente: Hantson, Chuvieco, et al. (2011).....	186
Cuadro 6.3 - Pasos para obtener las temperaturas de la superficie de la tierra. Fuente: Martinz Montoya, 2010.....	187
Figura 6.4 - Gráfico de dispersión de las temperaturas del suelo (TS) de la imagen Landsat en 21 de octubre de 2012 y temperaturas del objeto (TO) con termómetro laser de 24 de octubre de 2012, de Natal. Fuente: elaboración propia.....	191
Figura 6.5. Mapa de la temperatura de la superficie de Natal, 23 de julio de 2011. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.....	194

Figura 6.6. Mapa de la temperatura de la superficie de Natal, 17 de julio de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.....	194
Figura 6.7. Temperaturas del aire (TA) de los transectos y las temperaturas de la superficie (TS) de la imagen Landsat de Invierno. Fuente: elaboración propia.....	195
Figura 6.8 - Gráfico de dispersión de las temperaturas de superficie (TS) y temperaturas atmosféricas (TA) de Natal, julio de 2011 y julio 2012. Fuente: elaboración propia...	196
Figura 6.9. Mapa de la isla de calor urbano superficial de Natal (ICUS), 23 de julio de 2011. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.....	197
Figura 6.10. Mapa de la isla de calor urbano Superficial de Natal (ICUS), 17 de julio de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.....	197
Figura 6.11. Mapa de la temperatura de la superficie de Natal (TS), 4 de noviembre de 2011. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.....	199
Figura 6.12. Mapa de la temperatura de la superficie de Natal (TS), 21 de octubre de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.....	199
Figura 6.13. Temperaturas del aire (TA) de los transectos y las temperaturas de la superficie (TS) de la imagen Landsat de Primavera. Fuente: elaboración propia.....	200
Figura 6.14 - Gráfico de dispersión de las temperaturas de superficie (TS) y temperaturas atmosféricas (TA) de Natal, octubre de 2011 y octubre 2012. Fuente: elaboración propia.....	201
Figura 6.15. Mapa de la isla de calor urbano superficial de Natal (ICUS), 4 de noviembre de 2011. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.....	203
Figura 6.16. Mapa de la isla de calor urbano superficial de Natal (ICUS), 21 de octubre de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.....	203
Figura 6.17. Mapa de la temperatura de la superficie de Natal, 7 de enero de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.....	205
Figura 6.18. Mapa de la temperatura de la superficie de Natal, 25 de enero de 2013. Fuente: i de Landsat, US Geological Survey.....	205
Figura 6.19. Temperaturas del aire (TA) de los transectos y las temperaturas de la superficie (TS) de la imagen Landsat de Primavera. Fuente: elaboración propia.....	206
Figura 6.20 - Gráfico de dispersión de las temperaturas de superficie (TS) y temperaturas atmosféricas (TA) de Natal, enero de 2012 y enero de 2013. Fuente: elaboración propia.....	207

Figura 6.21 Mapa de la isla de calor urbano superficial de Natal (ICUS), 7 de enero de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.....	209
Figura 6.22. Mapa de la isla de calor urbano superficial de Natal (ICUS), 25 de enero de 2013. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.....	209
Figura 6.23. Mapa de la temperatura de la superficie de Natal, 28 de abril de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.....	211
Figura 6.24. Temperaturas del aire (TA) de los transectos y las temperaturas de la superficie (TS) de la imagen Landsat de Primavera. Fuente: elaboración propia.....	212
Figura 6.25 - Gráfico de dispersión de las temperaturas de superficie (TS) y temperaturas atmosféricas (TA) de Natal, abril de 2012. Fuente: elaboración propia.....	212
Figura 6.26. Mapa de la isla de calor urbano superficial de Natal (ICUS), 28 de abril de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.....	214
Figura 6.27. Mapa de la temperatura de la superficie de Natal (TS), 10 de mayo de 1990. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.....	217
Figura 6.28. Mapa de la temperatura de la superficie de Natal (TS), 28 de abril de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.....	217
Figura 6.29. Temperaturas del aire (TA) de los transectos y las temperaturas de la superficie (TS) de la imagen Landsat de Primavera. Fuente: Elaboración propia y Araujo, 1991.....	218
Figura 6.30. Grafico de Dispersión.....	219
Figura 6.31. Mapa de la isla de calor urbano superficial de Natal (ICUS), 10 de mayo de 1990. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.....	223
Figura 6.32. Mapa de la isla de calor urbano superficial de Natal (ICUS), 28 de abril de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.....	223
Figura 6.33. Mapas de las islas de calor urbanas atmosféricas (ICUA) y de la isla de calor urbana de superficie (ICUS) en invierno. Fuente: elaboración propia.....	228
Figura 6.34. Mapas de las islas de calor urbanas atmosféricas (ICUA) y de la isla de calor urbana de superficie (ICUS) en primavera. Fuente: elaboración propia.....	229
Figura 6.35. Mapas de las islas de calor urbanas atmosféricas (ICUA) y de la isla de calor urbana de superficie (ICUS) en verano. Fuente: elaboración propia.....	230
Figura 6.36. Mapas de las islas de calor urbanas atmosféricas (ICUA) y de la isla de calor urbana de superficie (ICUS) en otoño. Fuente: elaboración propia.....	231

Figura 7.1. Los umbrales de confort térmico de Natal del período 1995-2010 con el UTCI. Fuente: elaboración propia.....	238
Figura 7.2. Características estacionales de la sensación térmica para el periodo diurno de Natal. Fuente: Elaboración propia.....	239
Figura 7.3. Características estacionales de la sensación térmica para el periodo nocturno de Natal. Fuente: Elaboración propia.....	240
Figura 7.4. Frecuencia (%) de días con confortabilidad (Tmin) en la ciudad de Natal. Fuente: Elaboración propia.....	240
Figura 7.5. Frecuencia anual clasificada segundo las sensaciones de confort térmico de Natal con el UTCI, durante el período 1995-2010. Fuente: elaboración propia.....	242
Figura 7.6. Régimen bioclimático medio mensual de Natal clasificado por las temperaturas medias con el UTCI, frecuencia de días de cada mes del período 1995-2010. Fuente: elaboración propia.....	243
Figura 7.7. Régimen bioclimático medio mensual de Natal clasificado por las temperaturas máximas con el UTCI, frecuencia de días de cada mes del período 1995-2010. Fuente: elaboración propia.....	244
Figura 7.8. Régimen bioclimático medio mensual de Natal clasificado por las temperaturas mínimas con el UTCI, frecuencia de días de cada mes del período 1995-2010. Fuente: elaboración propia.....	245
Figura 7.9. Mapas de las temperaturas del confort térmico de Invierno para Natal con el UTCI, 11 de julio de 2011, mañana, tarde y noche. Fuente: Elaboración propia.....	249
Figura 7.10. Mapas de las sensaciones de estrés térmico en invierno para Natal con el UTCI, 11 de julio de 2011, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	250
Figura 7.11. Mapas de las temperaturas del confort térmico de Invierno para Natal con el UTCI, 11 de julio de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: Elaboración propia.....	251
Figura 7.12 Mapas de las sensaciones de estrés térmico en invierno para Natal con el UTCI, 11 de julio de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	252
Figura 7.13. Mapa de las temperaturas del confort térmico de Primavera para Natal con el UTCI, 06 de octubre de 2011, mañana, tarde y noche. Fuente: Elaboración propia.....	256
Figura 7.14. Mapa de las sensaciones de estrés térmico en primavera para Natal con el UTCI, 6 de octubre de 2011, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	257

Figura 7.15. Mapa de las temperaturas del confort térmico de Primavera para Natal con el UTCI, 24 de octubre de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: Elaboración propia.....	258
Figura 7.16. Mapa de las sensaciones de estrés térmico en primavera para Natal con el UTCI, 24 de octubre de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	259
Figura 7.17. Mapa de las temperaturas del confort térmico de Verano para Natal con el UTCI, 26 de enero de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: Elaboración propia.....	262
Figura 7.18. Mapa de las sensaciones de estrés térmico en verano para Natal con el UTCI, 26 de enero de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	263
Figura 7.19. Mapa de las temperaturas del confort térmico de Verano para Natal con el UTCI, 24 de enero de 2013, mañana, tarde y noche. Fuente: Elaboración propia.....	264
Figura 7.20. Mapa de las sensaciones de estrés térmico en verano para Natal con el UTCI, 24 de enero de 2013, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	265
Figura 7.21. Mapa de las temperaturas del confort térmico de Otoño para Natal con el UTCI, 26 de abril de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: Elaboración propia.....	268
Figura 7.22. Mapa de las sensaciones de estrés térmico en otoño para Natal con el UTCI, 26 de abril de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.....	269
Figura C1 - Puntos representativos de los recorridos en la ciudad de Natal.....	321
Figura C2 - Puntos representativos de los recorridos en la ciudad de Natal.....	322
Figura C3 - Estación meteorológica de la ciudad de Natal.....	323
Figura C4 - El contraste entre el área edificada y el área verde natural en la ciudad de Natal.....	323
Figura C5 - El contraste entre la década de 1940 y el año de 2013 en la ciudad de Natal.....	324
Figura D1 - Equipo que participaron de los transectos y los instrumentos.....	325
Figura D2 - El coche " <i>Fusca branco</i> " utilizado en los trabajos de campo, 2011.....	326
Figura D3 - Bandera de la ciudad de Natal, Brasil.....	326

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6.1 - Umbrales y diferencias entre las TS Máximas, Medias y Mínimas de Natal.....	188
Tabla 7.2 - Las temperaturas de aire (TA) y el índice de confort térmico universal (UTCI) de Natal, años de 2011, 2012 y 2013.....	270
Tabla A1 – Campañas de medidas de los días 06, 11 y 12 de julio de 2011.....	293
Tabla A2 - Campañas de medidas de los días 05, 06 y 07 de octubre de 2011.....	295
Tabla A3 - Campañas de medidas de los días 24, 26 y 27 de enero de 2012.....	297
Tabla A4 - Campañas de medidas de los días 24, 26 y 27 de abril de 2012.....	299
Tabla A5 - Campañas de medidas de los días 11, 12 y 13 de julio de 2012.....	301
Tabla A6 - Campañas de medidas de los días 24, 25 y 26 de octubre de 2012.....	303
Tabla A7 - Campañas de medidas de los días 23, 24 y 25 de enero de 2013.....	305
Tabla A8 - Temperatura de la Superficie de Natal, 2011, 2012 y 2013.....	307
Tabla A9 - Campañas de medidas de Natal, 1990.....	309
Tabla B1 - Isla de Calor Urbanas Atmosféricas de Natal (ICUA) de Invierno, 11 de julio de 2011 y 11 de julio de 2012.....	311
Tabla B2 - Isla de Calor Urbanas Atmosféricas de Natal (ICUA) de Primavera, 11 de octubre de 2011 y 24 de octubre de 2012.....	313
Tabla B3 - Isla de Calor Urbanas Atmosféricas de Natal (ICUA) de Verano, 26 de enero de 2012 y 24 de enero de 2013.....	315
Tabla B4 - Isla de Calor Urbanas Atmosféricas de Natal (ICUA) de Otoño, 26 de abril de 2012.....	317
Tabla B5 - Isla de Calor Urbanas Atmosféricas de Natal (ICUA) de Otoño, 30 de marzo de 1990.....	319

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 - Índice de confort térmico universal (UTCI), escala de evaluación categorizados en términos de estrés térmico.....	54
Cuadro 4.1 - Temperaturas anuales de Natal y el aeropuerto, período de 1995-2010.....	109
Cuadro 4.2 - Intensidad de las islas de calor de las temperaturas máximas y mínimas entre Natal y el aeropuerto, período de 1995-2010.....	114
Cuadro 4.3 - Valores de los percentiles por meses de las diferencias entre las temperaturas máximas entre Natal menos el aeropuerto, en el período 1995-2010.....	117
Cuadro 4.4 - Valores de los percentiles por meses de las diferencias entre las temperaturas mínimas entre Natal menos el aeropuerto, en el período 1995-2010.....	118
Cuadro 5.1 - Tipologías del suelo urbano relacionadas con la temperatura.....	125
Cuadro 5.2 - Localización de los puntos del transecto-1 con las tipologías del suelo.....	126
Cuadro 5.3 - Localización de los puntos del transecto-2 con las tipologías del suelo.....	127
Cuadro 5.4. Fechas de los transectos en Natal en diferentes estaciones del año.....	129
Cuadro 5.5 - Resumen de las condiciones meteorológicas de los transectos de Natal en invierno, 11 de julio de 2011 y 11 de julio de 2012.....	131
Cuadro 5.6 - Resumen de las condiciones meteorológicas de los transectos de Natal en primavera, 6 de octubre de 2011 y 24 de octubre de 2012.....	141
Cuadro 5.7 - Resumen de las condiciones meteorológicas de los transectos de Natal en verano, 26 de enero de 2012 y 24 de enero de 2013.....	152
Cuadro 5.8 - Resumen de las condiciones meteorológicas de los transectos de Natal en otoño, 26 de abril de 2012.....	162
Cuadro 5.9 - Resumen de las condiciones meteorológicas de los transectos de las análisis comparativas de Natal entre 1990 y 2012.....	169
Cuadro 5.10. Resumen de las temperaturas atmosféricas (TA) máximas y mínimas (°C) de los transectos en el área urbana de Natal, mañana tarde y noche.....	171
Cuadro 5.11. Resumen de las islas de calor y frescor urbanas atmosféricas (ICUA e IFUA) en Natal, mañana tarde y noche.....	178

Cuadro 6.1 - Las características de las imágenes Landsat de la zona de Natal y las referencias de los transectos.....	182
Cuadro 6.2 - Las condiciones meteorológicas el Natal en los días correspondientes a las imágenes Landsat.....	183
Cuadro 6.3 - Comparación de la evolución histórica entre las temperaturas superficiales (TS) de Natal entre mayo de 1990 y abril de 2012.....	220
Cuadro 6.4 - Zonas térmicas y temperaturas superficiales (TS) de Natal.....	224
Cuadro 6.5 - Resumen de las ICUA e ICUS de Natal.....	227
Cuadro 7.1. Escala de sensaciones de estrés térmico del índice universal de confort térmico (UTCI).....	236

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La acción humana es el principal agente causante de los cambios en la naturaleza y eso ocurre en diferentes escalas espaciales y temporales. A gran escala, el mejor ejemplo de acción directa del hombre es el cambio climático global. De acuerdo con el último informe del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) es muy probable que la influencia humana haya sido la causa en más de 95% del calentamiento observado desde mediados del siglo XX. (IPCC, 2013). Al contrario, el cambio del clima a pequeñas escalas, como es el caso del clima urbano, muestra la acción directa del hombre en la naturaleza en un lugar específico dotado de sus particularidades naturales y artificiales y a su vez pueden tener un perfil climático local sorprendente.

El siglo XX fue el siglo del ambientalismo y de la urbanización. Del ambientalismo principalmente con el marco de 1972 en la primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente, en la que los temas relacionados con el medio ambiente tomaron dimensiones mayores trayendo para la agenda política internacional la dimensión ambiental como factor condicionante para el crecimiento económico. De la urbanización, como muestra que en el año 2000 la población mundial en las ciudades supera a la del campo en más de un 50%. Además, entre los principales temas ambientales tratados a nivel mundial el cambio climático ha sido puesto de relieve (Fernández, 2010).

Stewart y Oke (2012) destacan entre los principales problemas ambientales del siglo XXI el crecimiento demográfico y el cambio climático global e implica el tema de las islas de calor urbanas como un problema importante y grave. Desde uno de los estudios pioneros de clima urbano, la monografía *The Climate of London*, de Tony Chandler (1965) es notable el interés y el crecimiento del número de estudios principalmente sobre las islas de calor urbanas en todo el mundo. Eso está en evidencia principalmente a partir de las últimas décadas en investigaciones desde las grandes metrópolis a las pequeñas ciudades.

En cuanto que sobrepasa las dudas en determinados aspectos del cambio climático global, esas dudas no se plantean en relación a los cambios climáticos locales. En escalas pequeñas de ámbito urbano, no hay dudas: el hombre está cambiando el clima. Admitiendo que el hombre cambia el clima en escalas pequeñas, entonces ¿por

qué cambia el clima en las ciudades? El pensamiento miltoniano afirma que las ciudades están como un punto de intercepción entre la verticalidad y la horizontalidad. En la horizontalidad, están representados sobre todo los fijos, el lugar donde vivimos y donde se procesa toda la acción y reproducción de los procesos económicos, sociales y políticos, es la ciudad propiamente dicha; y en la verticalidad están fundamentalmente los otros momentos de la producción, la circulación, la distribución y el consumo, es donde se procesan todas las formas de relación (Santos, 1999).

Mehrotra et al (2009) en el 5.º Simposio de Investigación Urbana de la Red de Investigación sobre el Cambio Climático Urbano (*Urban Climate Change Research Network* - URCCRN) esclarece que el cambio climático alterará las líneas de base ambientales de las ciudades, como los regímenes de temperatura y los patrones de precipitaciones. Estos cambios afectarán a muchos sectores en las ciudades. Afirma así la clara influencia del cambio climático a gran escala en los cambios a pequeñas escala de las ciudades.

Las áreas urbanas reproducen, a escala local, los cambios e impactos observados a escala global, y el clima urbano se define como un clima regional modificado (Fernández, 2010). El espacio urbano se presenta como un complejo conjunto de usos diferenciados de la tierra, que definen el Centro de la ciudad, áreas industriales, áreas residenciales y las áreas comerciales (Corrêa, 1989).

Conforme los conceptos anteriores, la ciudad representa el espacio mas representativo de las transformaciones de la acción humana en la naturaleza. En la ciudad se muestran las trasformaciones impuestas por la producción en un determinado espacio. Estas transformaciones suelen estar muy bien representadas por la compleja estructura urbana, formada por diversas divisiones o barrios de diferentes usos como áreas residenciales, comerciales, servicios, industriales, variados medios de circulación y principalmente la diversidad y concentración de edificaciones. Todo esto por su parte influye artificialmente y directamente en el clima urbano promoviendo oscilaciones atmosféricas locales, especialmente las islas térmicas.

El efecto de la isla de calor urbano es probablemente la más clara muestra documental de la modificación inadvertida del clima por el hombre. Las ciudades son en sentido más amplio aglomeraciones que forman manchas donde se produce una

distribución espacial diferenciada de la temperatura en el área urbana, cuyo efecto más significativo son las islas de calor urbanas (Olivier, 2005).

El fenómeno de la isla de calor urbana no es un problema exclusivo de las grandes urbes ni de las ciudades templadas de media y alta latitudes y altitudes. Ocurre tanto en estas como también en las pequeñas ciudades, tanto en los climas más templados como en los más calurosos o de bajas latitudes (Barry & Chorley, 2003). La presencia de las islas de calor de la atmosfera urbana (ICU) y su opuesto, la isla de frescor de la atmosfera urbana (IFU), es un conocido problema climático principalmente debido al fenómeno del fuerte crecimiento urbano

Las islas de calor urbanas en clima tropical son muy parecidas con las islas de calor de las ciudades templadas, pero suelen presentar distribuciones diferenciadas, principalmente en relación con la periodicidad, con una tendencia a las subidas de temperatura en el período vespertino, además de la importancia del efecto térmico urbano contrario que son la formación de las isla de frescor urbana (Barry & Chorley, 2003).

Las ciudades son muy vulnerables al aumento térmico y también a los efectos del cambio climático. En los últimos cien años la temperatura media de la Terra ha aumentado sensiblemente. El informe publicado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en septiembre de 2013 destaca que la influencia humana ha sido detectada en el calentamiento de la atmósfera, en los océanos, en el deshielo y en otros fenómenos climáticos (IPCC, 2013) y añade que la mayor parte del aumento de las temperaturas medias registradas en todo el planeta desde los mediados del siglo XX se debe principalmente a la quema de combustibles fósiles de las actividades humanas y no se puede dudar que este cuadro se refleje en los sitios urbanos (Figura 1.1).

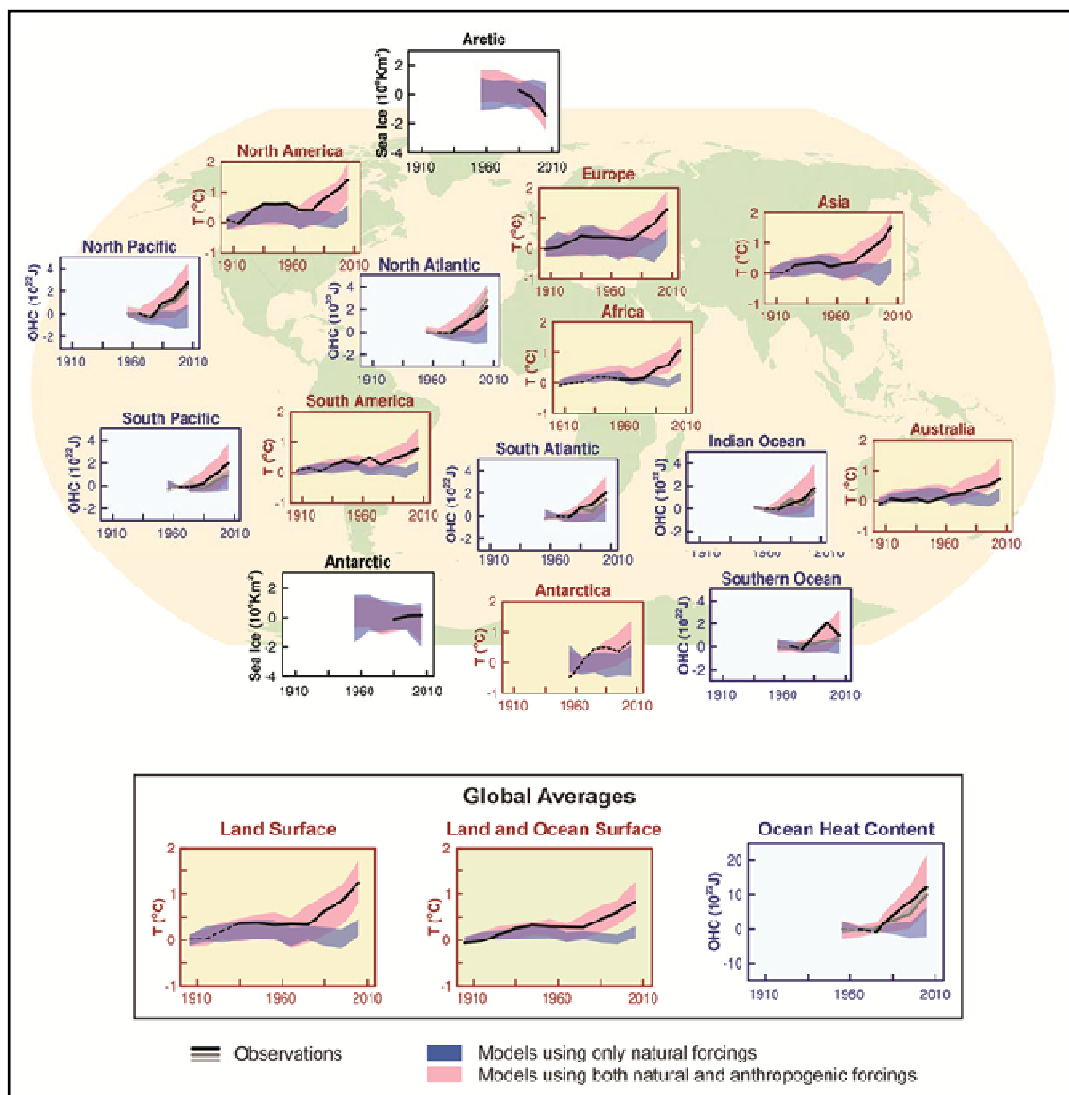


Figura 1.1 - Cambio experimentado por la temperatura a nivel mundial y continental.
Fuente IPCC, 2013

Las discusiones sobre el crecimiento de la temperatura en el mundo son objeto de estudios científicos y debates tanto por los medios de comunicación como por instituciones gubernamentales y se plantean acuerdos alcanzados en todo el mundo patrocinados por las Organización de las Naciones Unidas (ONU) a través de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

El crecimiento de las ciudades, independientemente de su ubicación geográfica, puede tener un gran potencial para generar cambios en el clima local y a su vez problemas ambientales y sociales. Así que existe una necesidad de estudiar el clima

urbano no solo en las grandes metrópolis, también en las medias y pequeñas ciudades, muy especialmente en ciudades de clima tropical que al parecer no presentan demasiados cambios climáticos locales.

El clima es, sin duda, uno de los componentes más importantes de los elementos naturales, su influencia incide en casi todas las áreas y tiene una relación directa con las actividades humanas. Por tanto, los impactos del cambio climático estarán mucho más presentes en las zonas urbanas y rurales donde sufren las principales transformaciones.

El intenso proceso de urbanización en líneas generales presenta interferencias en el entorno urbano y en el clima y eso trae consecuencias para toda la población. Este es el caso de la ciudad de Natal, la capital del Estado del Rio Grande do Norte, una ciudad que presenta un crecimiento muy acelerado en las últimas décadas.

1.2. ÁREA DE ESTUDIO

La ciudad de Natal (Brasil) es la capital y más importante ciudad del estado del Rio Grande do Norte, principalmente por concentrar una gran variedad de actividades económicas, comerciales y sociales, además de destacarse como un importante destino turístico del país, atrayendo más de dos millones de turistas al año (80% nacionales y 20% internacionales) (Prefeitura Municipal de Natal, 2013).

La ciudad de Natal se enmarca dentro de la región Noreste de Brasil con las siguientes coordenadas centrales 05°47'42'' de latitud sur y 35°12'32'' oeste de Greenwich. Con una superficie de aproximadamente 167,263 km² y una altitud media de 30 m. Limita al norte con el municipio de Extremoz, al sur con Parnamirim, al oeste con Macaíba y São Gonçalo do Amarante al este con el Océano Atlántico (Figura 1.2). La distancia entre los puntos extremos de la ciudad aproximadamente se encuentran, de norte a sur, 25 km, y en los puntos extremos, de este a oeste, 12,5 km (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013).

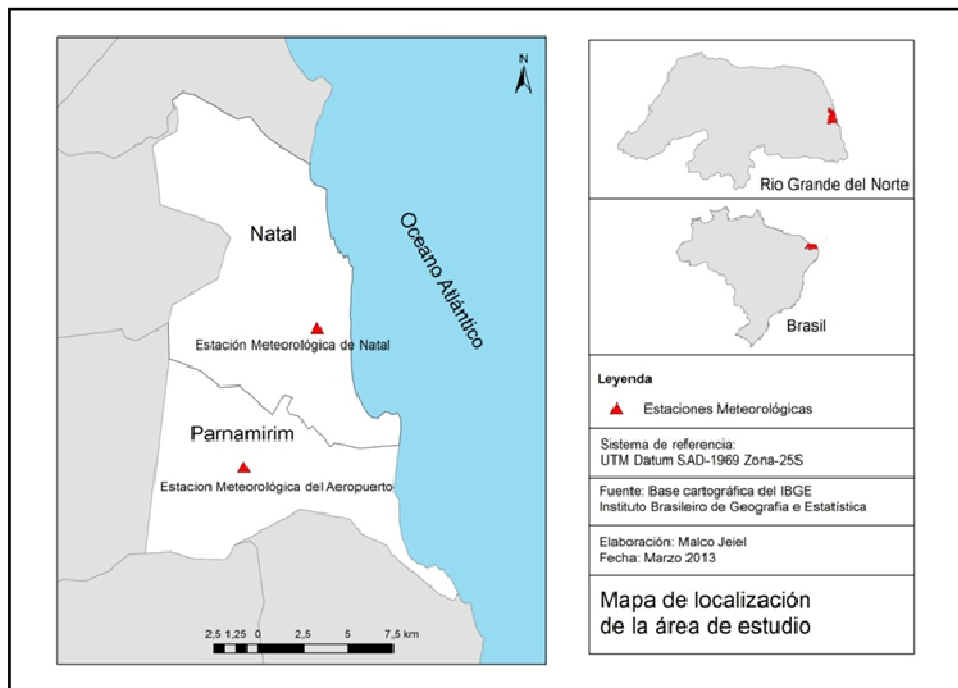


Figura 1.2 - Mapa de localización del área de estudio, Natal, RN, Brasil. Fuente: IBGE, 2013.

En las últimas décadas ha tenido un destacado nivel de crecimiento, reflejado directamente en el aspecto demográfico y territorial. Al igual que muchas ciudades brasileñas, la ciudad de Natal también está pasando por un proceso de crecimiento acelerado. La población de Natal es de 803.739 habitantes y una densidad poblacional de 4.546 habitantes por km² (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013). El incremento poblacional de Natal y del Estado del Rio Grande do Norte indican un continuo y constante crecimiento de ambos desde la década de 1950 (Figura 1.3).

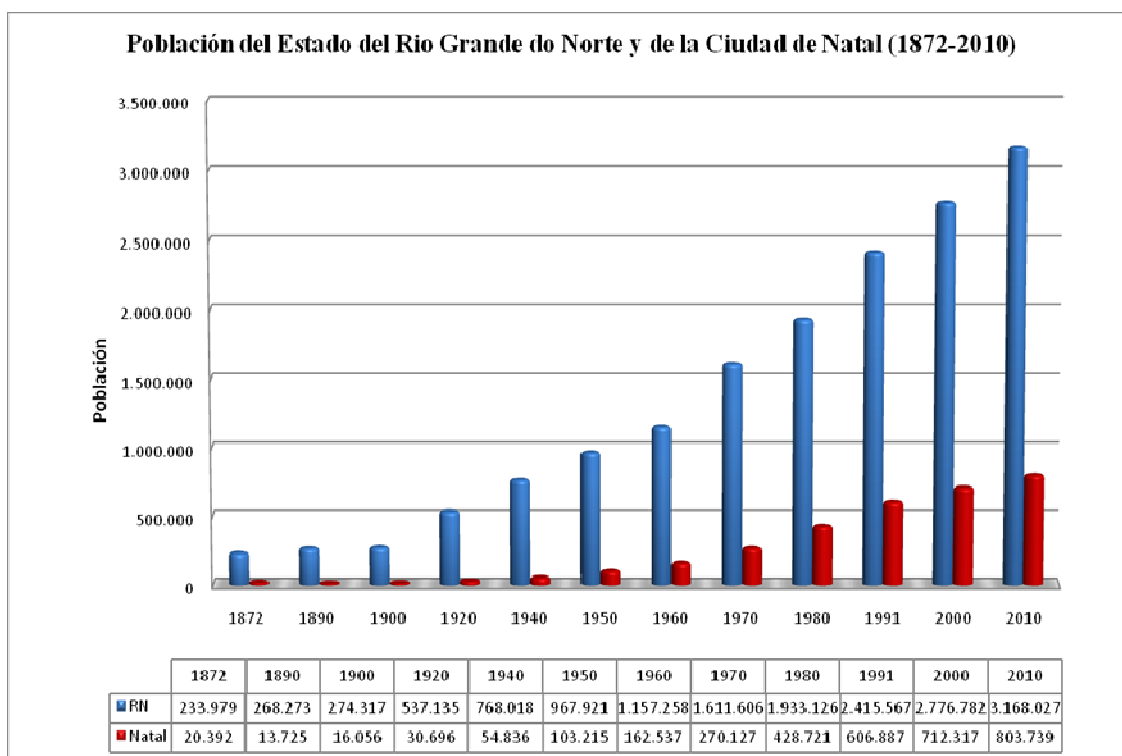


Figura 1.3 - Población del Estado del Rio Grande do Norte y de la Ciudad de Natal (1872-2010). Fuente: IBGE, 2013

La urbanización de la ciudad de Natal en las últimas cuatro décadas fue muy rápida. En la década de 1980 la tasa de crecimiento fue de 3,7% (entre 1980-1991) pero disminuyó en 2,21% en la década siguiente de 1991 hasta 1996. De tal modo que a partir del año 1991 ha habido una pequeña desaceleración del crecimiento poblacional. Otro hecho que llama la atención es el porcentaje de la población de la ciudad en comparación con la población total del estado: la ciudad de Natal representa aproximadamente el 25% de la población total del estado.

Son muchos los factores que contribuyen al crecimiento urbano de las ciudades brasileñas y en especial de la ciudad de Natal. Entre ellos está la transferencia de la población rural a la capital del estado (el éxodo rural) y esto se debe entre otros factores a la atracción debida a las mayores oportunidad de trabajo, servicios etc. (Camarano & Abramovay, 1999). El crecimiento de las grandes ciudades brasileñas resulta de la ocupación desordenada de los espacios urbanos, vinculada al fracaso y la interrupción de muchas de las políticas públicas para la aplicación de una planificación de controles administrativos y de organización del espacio urbano (Haesbaert, 2002).

Entre los llamados factores atractivos de las grandes ciudades brasileñas está el desarrollo económico. En el caso de la ciudad de Natal tiene como principales actividades económicas el comercio, industrias que se localizan principalmente en el área metropolitana o los municipios adyacentes y el turismo que ha surgido como una importante actividad económica en la región.

Dentro de estas actividades económicas y comerciales en Natal hay una que presenta un crecimiento muy acelerado, que es la construcción de edificios y viviendas y que en las últimas décadas ha transformado varios barrios de la ciudad. Los sectores inmobiliario y de construcción civil han proporcionado un acelerado crecimiento tanto horizontal como vertical de la ciudad, incluso superan en crecimiento a los municipios vecinos. Varios barrios de la ciudad están sometidos actualmente a un crecimiento urbano y especulación inmobiliaria sin precedentes. Los edificios que están siendo construidos y a la venta en el mercado atraen a nuevos inversores hasta de otros países.

Nunes (2009) retrata que el crecimiento de la ciudad Natal está ocurriendo de forma acelerada, continua y no planeada, algo que trae serias consecuencias ambientales. Los espacios naturales urbanos sufren constante agresiones y ocupaciones sin que el poder público la mayoría de las veces promueva una acción efectiva continua que proporcione mejores condiciones de calidad de vida para la población.

La configuración del uso del suelo urbano de Natal se caracteriza por una masa edificada continua en toda su área urbana, con la presencia de cuatro grandes áreas de vegetación que forman un auténtico archipiélago de islas de bosques naturales que son el Parque de las Dunas (al Este), el Parque de la Ciudad y las áreas verdes de Ponta Negra, Lagoinhas y las orillas del río Pitimbu (al Sur), el área de la vegetación de manglares en la orilla del río Potengi (al Oeste y Norte) y el área verde de la Laguna Azul, al norte. Hay actividades industriales cerca del casco urbano, pero las grandes industrias se concentran principalmente en la zona Norte de la ciudad. La ciudad está dividida por medio por el río Potengi, donde se encuentra el puerto de la ciudad, y al este están las playas (Figura 1.4)

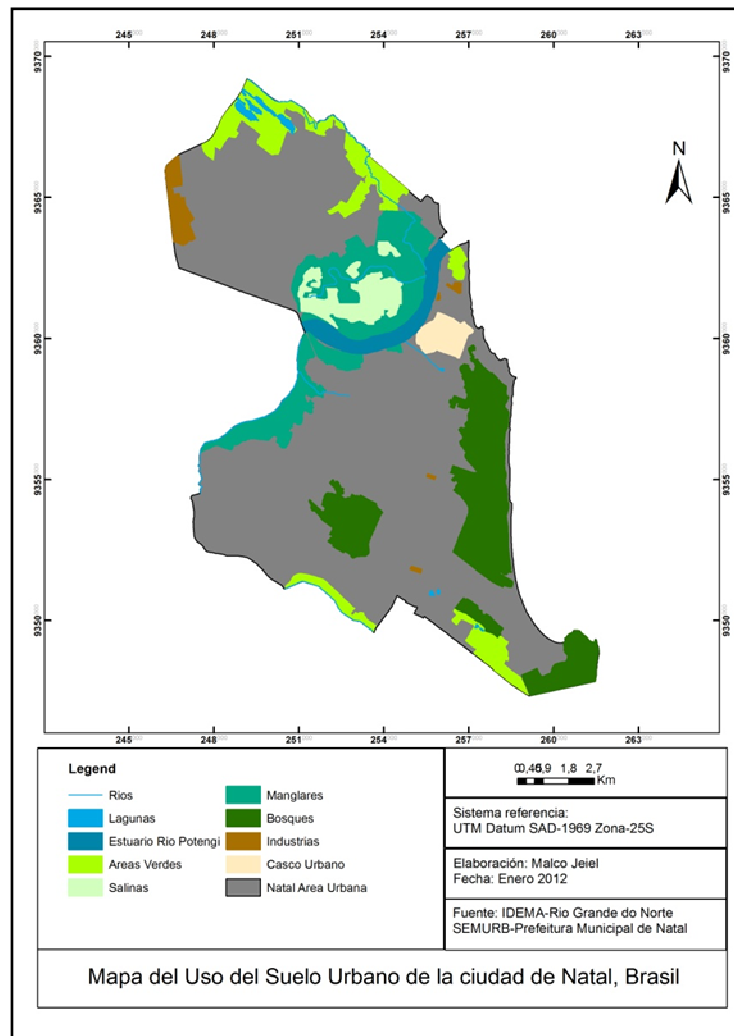


Figura 1.4 - Mapa del usos del suelo de la ciudad de Natal, Brasil

Por lo tanto, la ciudad de Natal, al igual que muchas otras ciudades brasileñas, está creciendo rápidamente y mal planificada. Como se ha dicho anteriormente, todo el territorio de Natal fue ocupado por el área urbana, sobrepasando sus límites, a partir de un proceso de conurbación con el municipio de Parnamirim, al sur. Los barrios con tasas más destacadas de crecimiento vertical (edificios con más de 10 plantas) están principalmente en los barrios centrales de Petrópolis y Tirol, al este el barrio de Areia Preta y, al sur, los barrios de Candelária, Lagoa Nova, Ponta Negra, Capim Macio y Cidade Verde. En la zona Norte ya ha empezado la construcción de edificios, que destaca por el crecimiento horizontal de viviendas con tres o más plantas. A este crecimiento se añade, los problemas ambientales en Natal, como ha dicho De Souza Junior (2009).

Numerosos arranha-céus foram construídos, nos últimos anos, a maioria em Petrópolis, Tirol e Candelária. Esses mastodontes de concreto e vidro começam a proliferar em outros bairros da classe média. A paisagem vai ficando emparedada, e o clima cada vez mais quente. Inúmeros outros problemas decorrem desse crescimento vertical desenfreado, inclusive a contaminação do lençol freático. (p. 93).

El informe anterior anuncia claramente el sentimiento de la población de la ciudad de Natal en relación al crecimiento vertical acelerado de algunos barrios de la ciudad y el clima actual como "cada vez más caliente". Así el crecimiento urbano de Natal viene con sus consecuencias, y en los últimos años hay una creciente preocupación con respecto a las temperaturas más altas en algunos períodos en algunos barrios de la ciudad.

Desde esta perspectiva, se desarrolla el presente estudio cuyo objetivo principal es analizar el clima urbano de la ciudad de Natal. Las variables que analizaremos son las temperaturas, el viento y la humedad, procedentes de series largas registradas en dos observatorios meteorológicos, medidas in situ, obtenidas a lo largo de una serie de transectos con instrumentos móviles y los procedentes de las imágenes de satélite. Con ello se describirán los principales rasgos del clima de regional, las modificaciones que introduce la ciudad, mediante la isla de calor y sus impactos expresados en términos de confortabilidad climática.

1.3. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Los estudios sobre la climatología urbana se retrotraen al inicio del siglo XIX sobre el clima de Londres de Howard en 1818, Kratz en 1937 y Chandler en 1967, constatando que las temperaturas en el centro de Londres son más altas que en la periferia (Olcina & Cantos, 2006). En la Península Ibérica los estudios en España empezaron con el estudio sobre la isla de calor en Madrid con López Gómez, Fernández García (1984) y la posterior publicación del libro El clima urbano de Madrid: la isla de calor (López Gómez, A., López Gómez, J., Fernández García, F., Arroyo Ilera, F., 1991). En la continuación del tema fue el estudio El clima urbano teledetección de la isla de calor en Madrid (López Gómez, Fernández García y Moreno Jiménez, 1993) y con la edición del segundo libro Teledetección y clima urbano: Variaciones nocturnas y

diurnas de las islas de calor en Madrid. (López Gómez, A., Fernández García, F., Arroyo Llera, F., 1995). En la misma época Moreno García (1991) ha desarrollado un estudio sobre la isla de calor en Barcelona y la posterior publicación del pionero libro sobre la Climatología Urbana (Moreno García, M C. 1999). Otro importante estudio aún más amplio con el tema *El clima de las ciudades españolas* (López Gómez, A., Fernández García, F., Arroyo Llera, F., Martín Vide, J., Cuadrat, J. M., 1993). En Portugal el primer estudio de clima urbano fue desarrollado sobre el clima de la región de Lisboa por Alcoforado (1992) continuándose hasta la actualidad por el grupo de investigación en clima urbano en esta universidad y otros estudios que se han realizado en Oporto y Coímbra (Monteiro, 1997).

En Brasil los estudios de clima urbano empezaron con el pionero estudio de Gallego (1972) *Tipos de tempo e poluição atmosférica na cidade do Rio de Janeiro, um ensaio em climatologia urbana*. Pero, la Teoría Sistema Clima Urbano de Monteiro (1975) fue el marco para los estudios de clima urbano en Brasil (Monteiro & Mendonça, 2003). Esta teoría presenta una importante propuesta teórica metodológica para los estudios de clima urbano, evidenciando el clima como un sistema dinámico adaptativo. Lombardo (1985) desarrolló el estudio sobre la Isla de calor en la ciudad de São Paulo fundamentado en la Teoría Sistema Clima Urbano. Zavattinni (2004) en el libro *Estudos do Clima no Brasil* hace una evaluación con mucho criterio de aproximadamente 266 estudios de clima y, dentro de estos, 40 referidos al clima urbano, este trabajo hace un importante inventario de los estudios de clima en las universidades brasileñas hasta 2004.

Desde una revisión preliminar en la literatura científica, no existen experiencias similares de esta magnitud de investigación para la ciudad de Natal, por eso, no caben dudas sobre la importancia del tema del clima urbano para la ciudad de Natal. Así resulta fundamental desarrollar la investigación para el análisis y las consecuencias entre la relación espacial y temporal de la dinámica del clima y el crecimiento urbano de la ciudad. Desde el punto de vista del espacio, el área urbana es donde ocurren los principales cambios realizados por el hombre en la naturaleza. La ciudad es uno de los puntos culminantes donde la naturaleza cede su paso a la acción humana cambiando las áreas naturales para un diseño del espacio urbano extremadamente heterogéneo y artificial.

Rice (1997) sostiene la versatilidad en los periodos de tiempo para las investigaciones del clima urbano. Que pueden ser desarrollados a través de un recorte longitudinal, es decir, comprendiendo más de un período de tiempo, consecutivos o alternados, en diferentes momentos del año, con una perspectiva comparativa y/o a través de datos históricos. Dentro de esta perspectiva, en la ciudad de Natal los principales elementos son los datos meteorológicos medidos y comparados dentro de un período longitudinal y con periodos repetitivos. Inicialmente de tres años alargado a tres décadas, añadiendo a eso las relaciones y transformaciones ocurridas en el espacio del área de estudio.

Esencialmente el clima urbano de la ciudad de Natal sufre cambios de naturaleza térmica de diferentes intensidades tanto temporales como espaciales y el fenómeno de las alteraciones térmicas es heterogéneo y policéntrico y se ha agudizado con el crecimiento de la ciudad. Para eso, se recogen los datos meteorológicos de tres fuentes principales: del observatorio de la ciudad y del observatorio más cercano que es el aeropuerto, también los datos medidos en los transectos de campo y los datos extraídos de las imágenes de satélite.

En la distribución de las isotermas en el clima urbano hay un contraste térmico entre las zonas más y menos urbanizadas y en otro nivel los cambios son aún más pronunciados tanto en relación a las estaciones del año como en el espacio interurbano. Lo que se puede predecir es que la forma urbana desordenada puede incrementar cambios térmicos muy considerables cuya manifestación más importante es la formación de las islas de calor.

El grado de certidumbre para el estudio del clima urbano requiere diversas fuentes, tanto en el campo de la escala espacial como temporal, es decir, datos de observatorios meteorológicos, de transectos de campo, extraídos de teledetección orbital y de datos históricos, entre otros. Todos estos datos e informaciones adecuados y precisos sirven para tratar de entender la dinámica del clima urbano de Natal, así hacerse las siguientes preguntas:

—¿Cómo está cambiando el clima urbano de la ciudad de Natal?

—¿Cuáles son los factores responsables de la alteración del clima urbano de la ciudad de Natal?

—¿De qué forma el crecimiento urbano vertical y horizontal interfieren en los cambios de la temperatura del aire de la ciudad de Natal?

—¿Cómo se reflejan los cambios de las temperaturas del aire en la formación de las islas térmicas en Natal?

—¿Cómo es la intensidad y disposición de las islas de calor en Natal?

—¿Cuál es la intensidad de la isla de calor en escala temporal y espacial y cómo puede afectar al bienestar de la población?

Las anteriores cuestiones parten de la necesidad y el desafío de atreverse a responder sobre el cambio climático relacionado con una zona delimitada de clima tropical, la ciudad de Natal, capital del estado de Rio Grande do Norte, situada en el Noreste de Brasil. La ciudad de Natal tiene una población de 803.000 habitantes, concentrando el 25% de la población total del Estado, ocupando un área de 167 km² y la actual trama urbana edificada ocupa todo el territorio de la ciudad. Factores estos que, añadidos al desarrollo territorial en las últimas décadas, son determinantes para las modificaciones en el clima urbano y que pueden ocasionar problemas de malestar e incluso ampliarse o alcanzar situaciones extremas para la población.

La comodidad y el bienestar de la población debe ser uno de los principales elementos de estudio del clima urbano. El estudio del clima urbano, de hecho, puede y debe ayudar a dirigir la conducta u otras características y circunstancias para beneficiar al ser humano y respetar a la naturaleza. La presencia de las islas de calor en áreas urbanas es ya un conocido problema ambiental mundial, principalmente debido al fenómeno del fuerte crecimiento urbano a nivel mundial. Pero el fenómeno de las ICU no es igual en todas las ciudades, siendo un factor fundamental la zona climática donde está ubicada la ciudad. Las ciudades tropicales, como Natal, pueden sufrir daños o impactos aún más graves y provocar malestar en la población, además de los problemas económicos. La idea en que se fundamenta este estudio de doctorado está basada en la siguiente pregunta:

En qué medida las cuestiones de los cambios e interferencias urbanas analizadas a la luz de los modelos de campo y teledetección orbital afectan el clima de la ciudad de Natal, Brasil?

1.4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis principal

En qué medida el crecimiento urbano horizontal y vertical produce un efecto de modificación sobre la distribución espacial y temporal del campo térmico de la ciudad de Natal.

Hipótesis secundarias

Los cambios térmicos con el paso del tiempo se produce de forma distinta entre Natal y su alrededor.

El grado de intensidad del contraste térmico en Natal es reflejo del crecimiento y densidad de la red urbana.

Las variaciones espaciales y temporales de las islas de calor urbanas atmosféricas y superficiales se manifiestan en períodos diferentes y en cualquier área de la ciudad de Natal

Los contrastes térmicos influyen sobre el ritmo bioclimático de la ciudad con repercusiones importantes sobre la población de Natal.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar el ritmo del clima urbano de la ciudad de Natal en el espacio tiempo a través de modelos y técnicas de campo y de teledetección orbital.

Objetivos específicos

Analizar las modificaciones del clima urbano de la ciudad de Natal y su entorno a lo largo del tiempo.

Analizar el ritmo del clima urbano tropical y su relación con las modificaciones de la red urbana de la ciudad de Natal.

Analizar la presencia, intensidad y variaciones espaciales y temporales de las islas de calor atmosféricas y superficiales de Natal.

Evaluar el comportamiento bioclimático a partir de la combinación de las diferentes variables que interviene en el mismo, mediante la utilización de índices bioclimáticos.

1.5. METODOLOGIA

El clima urbano es un reflejo de interfaces que se relacionan y actúan entre sí, desencadenado por el macroclima o clima regional gobernado por padrones de gran escala que influyen directamente en el mesoclima o clima local. Los otros factores dinámicos propios como la estructura urbana, el consumo de energía y la dinámica del desarrollo urbano afectan la capa limite de la atmosfera urbana como un centro de producción de calor. Por lo tanto, el exceso de calor que se disipa por el medio ambiente urbano, lejos de ser totalmente reciclado, convierte la atmósfera de la ciudad en una isla de calor causando problemas ambientales y de confort térmico a la población (Figura 1.5).

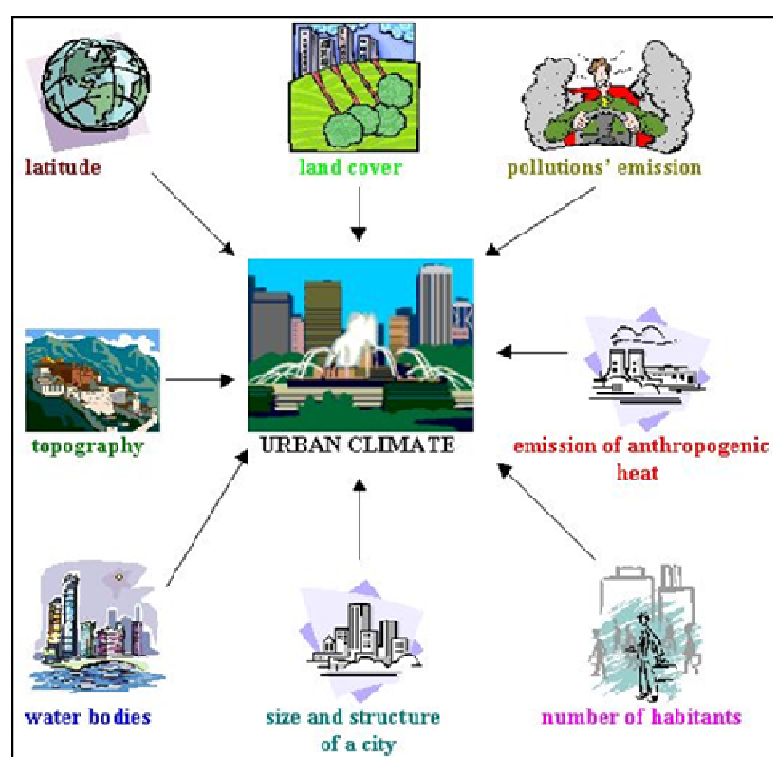


Figura 1.5 - Los factores y interrelaciones del clima urbano. Fuente: Wypych; Bokwa (2004)

Este estudio se desarrolla dentro del campo de la climatología, una rama de la geografía en el cual se exponen los temas de investigaciones y análisis en el área del clima urbano. De hecho, son fundamentales los estudios desarrollados sobre el clima para evaluar y analizar los complejos procesos que involucran el clima urbano.

El enfoque sistémico es el parámetro para el diseño metodológico del clima urbano de la ciudad de Natal. El análisis sistémico permite un análisis modular, pero no fragmentado, que a su vez puede subdividir el objeto de estudio en otros subsistemas haciendo la interrelación entre ellos y que lo caracteriza en un proceso dinámico y que lo hace posible entender el problema. El análisis sistémico se define como un conjunto de elementos que tienen relaciones entre sí de acuerdo a sus cualidades, condicionantes o dependientes de la situación de otros o unidades del sistema con entradas y salidas (Christofolletti, 1979).

Por eso, se observa la importancia del análisis sistémico para la geografía física como destaca Sotchava (1977). Los estudios de la geografía física que son basados en los principios sistémicos pueden apoyar el planeamiento y desarrollo social y económico, y sugerir medidas para el desarrollo y la reconstrucción de los territorios. Por eso, ocupa un lugar destacado en la geografía aplicada.

Tricart (1977) señala que el análisis sistémico es el mejor instrumento metodológico a disposición de la geografía física para estudiar los problemas del medio ambiente. Enfatiza que una de las cuestiones planteadas es el conjunto de razonamientos lógicos del concepto de sistemas, que es dinámico y no está fragmentado y permite la búsqueda de relaciones con las otras técnicas de análisis e investigación.

Christofolletti (1979) establece que "no todos los sistemas de interés para el geógrafo actúan de forma aislada, mas trabaja en un entorno y forma parte de un todo más grande". Por lo tanto, la delimitación de un área de estudio requiere un conocimiento sistemático por parte del geógrafo. Es pertinente que se puedan hacer relaciones entre el objeto de estudio y los elementos del universo en el cual se está incluido. Destaca, que las condiciones climáticas se califican como un sistema abierto, no aislado, que forma parte de un proceso muy dinámico de créditos y débitos de energía y materia.

Mendonça (1989) se refiere de una forma clara y sintética sobre la preferencia de la aplicación del enfoque sistémico en la geografía física. La mayoría de las ciencias se especializa en determinados objetos de estudio, pero en geografía se hace uso de múltiples objetos y métodos científicos, aunque al final se trata de responder a las cuestiones planteadas. Los estudios de investigación científica en geografía física deben tender a buscar el foco en la "dialéctica de la naturaleza", algo que todavía es poco

explorado porque prevalece el análisis sistémico, que se muestra cómo la mejor metodología en la geografía física.

La climatología es la ciencia que estudia el clima y sus variaciones a lo largo del tiempo. Cualquier intento de establecer el impacto de los cambios de clima independiente de la escala debe emplear datos históricos. Los datos históricos son la base para todos los estudios en la climatología (Henderson-Sellers & McGuffie, 1990). En este estudio serán utilizados los datos históricos de las últimas tres décadas en la ciudad de Natal.

La metodología utilizada para cuantificar y analizar el clima urbano y la formación de las islas de calor dentro de un espacio urbano están formada por diversos procedimientos, basados en las mediciones de los datos meteorológicos de diversas fuentes, a los que se añade el levantamiento de las rugosidades de la morfología de espacio urbano y la dinámica del clima en escala regional o continental.

En este estudio es importante hacer las comparaciones de los cambios climáticos en los niveles de la temperatura del aire interurbana como extraurbana y otras áreas adyacentes, de forma que los resultados puedan ser comparados y aproximándolos a otros resultados, a los que, por otra parte, hay que añadir datos históricos. El observatório meteorológico del aeropuerto de Natal es la referencia extraurbana para este estudio.

La teledetección es el método más adecuado y atractivo para estimar las temperaturas de la superficie terrestre de forma continua, hecho este muy pertinente para la complejidad de las zonas urbanas. Entre otras razones, el hecho principal es la casi imposibilidad de obtener la temperatura de la superficie a través de sensores meteorológicos o en varias estaciones meteorológicas, además de forma general suele haber solamente un observatório meteorológico en cada ciudad, como es el caso de la Natal. Las imágenes orbitales ofrecen una alternativa continua de estimaciones de alta frecuencia espacial y temporal de la temperatura superficial uniforme (Liu, 2007).

La metodología de este estudio es distinta y específica para cada uno de los cuatro enfoques de análisis que son, las series largas, los transectos de campo, las imágenes de satélite y el confort térmico. Por eso, la metodología específica será desarrollada y explicada en cada parte de los análisis. Las técnicas principales estarán

basadas en los análisis estadísticos de los datos, en los mapas digitales y en la búsqueda bibliográfica.

El conjunto de los datos de las variables meteorológicas analizados son de tres fuentes principales, de dos observatorios meteorológicos: uno en la ciudad de Natal, que pertenece al Instituto Nacional de Meteorología (INMET), y otro al aeropuerto de Natal, que pertenece la Fuerza Aérea Brasileña (FAB). La otra fuente son los datos de los transectos de campo medidos en los años de 2011, 2012 y 2013 además del dato histórico de 1990. Y por fin los datos extraídos de las imágenes orbitales de los satélites Landsat 5 y 7 de las escenas de los años de 2011, 2012 y 2013 además del dato histórico de 1990.

Los datos meteorológicos serán analizados e interpretados para cada una de las partes, es decir, se trata de elaborar los análisis de los datos de temperatura, humedad y velocidad del viento y otros con el fin de determinar el comportamiento térmico y verificar las anomalías de temperatura en la ciudad, estableciendo comparaciones, correlaciones y la caracterización de los perfiles climáticos urbanos.

Monteiro y Mendonça (2003) destacan que el Sistema Urbano Climático (SCU) utiliza la metodología de los transectos de campo basada en las mediciones o muestreo de los parámetros *in loco*, esto es, en las vías públicas de la ciudad, y son muy útiles siendo una referencia para los estudios del medio ambiente atmosférico urbano.

Así, en este estudio, serán utilizados los transectos de campo que se realizarán en siete etapas a lo largo de diecinueve meses a partir de los recorridos urbanos en coches por las principales calles y avenidas de la ciudad de Natal. Esta separación entre las fases de los muestreos de campo sigue las estaciones climáticas del año pero, de hecho, solo tenemos dos períodos muy distintos, que son un período con temperaturas más suaves y con las lluvias en invierno y otros meses más cálidos y con menos lluvias en verano. Los parámetros para cada muestreo son temperatura del aire, la velocidad del viento y la humedad.

Los muestreos fueran recogidas en dos transectos cubiertos en las cuatro áreas urbanas de la ciudad Natal en dos Rutas, la Ruta 1 entre la Zona Sur hasta la Zona Este incluso en el centro de la ciudad (llamado de Gran Punto) y el otro transecto la Ruta 2 entre la Zona Norte hasta la Zona Oeste, incluso el barrio de Alecrim..

Un análisis más detallado será desarrollado e implementado por el uso de los mapas mediante la teledetección orbital de las imágenes de satélite disponibles de los satélites Landsat de los años de 2011, 2012 y 2013, además del dato histórico de 1990. En este caso, la metodología se utilizará en los datos de la emisividad, temperatura de los cuerpos en la región infrarroja térmica del espectro (infrarrojo térmico ventana atmosférica de band 8 a $14\mu\text{m}$), como ha dicho Moreira (2003):

Utilizando-se equipamientos que operan en esta ventana atmosférica, es posible medir la radiación emitida de los objetos de la superficie terrestre. Luego, conociéndose la emisividad del cuerpo y la medida de la energía emitida, es posible evaluar la temperatura del cuerpo (p. 130).

En los entornos urbanos las imágenes durante el día y la noche del infrarrojo térmico con alta resolución espacial (5 a 30 m) se puede utilizar para obtener informaciones más detalladas sobre los efectos de las islas de calor. Los sensores ETMP Enhanced Thematic Mapper Plus del satélite Landsat 7 con una resolución espacial de la resolución 60x60m y 90x90m de ASTER son muy útiles (Jensen, 2009, p. 502).

Las imágenes del infrarrojo térmico de 8 a $14\mu\text{m}$ se pondrá a disposición en este estudio. Con los datos analíticos y los resúmenes estadísticos se hará los estudios de correlaciones entre las variables y los mapas de isotermas de la ciudad de Natal.

Desde el punto de vista del espacio, el área urbana es el área de mayor cambio realizado por el hombre en la naturaleza y es extremadamente heterogénea y artificial. El área urbana se compone de dos subsistemas, uno de origen artificial y otro natural. Las áreas humanas ocupan la mayor parte de la superficie urbana, que consta de áreas residenciales, de zonas pavimentadas, las calles y las avenidas, las zonas comerciales e industriales con todas sus diferencias y sumas. El espacio para la vegetación natural, las áreas verdes, ocupan cada vez menos espacio en el área urbana y es el factor principal y el indicador de la comodidad y la calidad ambiental (Luchiari, 2001).

Por último, la investigación será hecha a partir de la análisis del confort térmico que siente la población en la ciudad de Natal. Los datos serán los de los transectos. Serán analizados por el programa Bioklima 2.6 y en seguida a través del mapas digitales. El objetivo es generar alternativas o acciones para reducir al mínimo la incomodidad térmica colectiva o para la posible intervención y planificación urbana.

El resultado final es el análisis individual y comparativo de los resultados de las relaciones entre los cuatros conjuntos de datos, series largas, recorridos, imágenes de satélite e índice de sensación térmica, permitiendo hacer un estudio comparativo para diagnosticar las variaciones de las temperaturas, la formación de isla de calor o de frescor urbana y la sensación térmica que siente la población de la ciudad de Natal.

Indudablemente la mejora de calidad ambiental en las ciudades es un factor muy importante y entre estos está la cuestión climática que, desgraciadamente, aún no es muy relevante en las principales políticas ambientales municipales, principalmente en los países emergentes, como Brasil.

1.6. ORGANIZACIÓN Y PLAN DE EXPOSICIÓN

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo describe una recapitulación de los principales conceptos y teorías sobre el clima urbano, además de un breve resumen sobre los estudios de clima urbano en el mundo y en Brasil, acercándose a los estudios de confort térmico y del clima urbano sobre la ciudad de Natal, Brasil.

PARTE I - NATAL Y EL PROCESO DE URBANIZACIÓN

CAPITULO 3. EL PROCESO DE URBANIZACIÓN DE LA CIUDAD DE NATAL

En el presente capítulo se describe las principales características de la ciudad de Natal a través de los análisis de los marcos urbano, morfológico y climático. Los parámetros para el marco urbano son los datos bibliográficos, para el marco Morfológico son los datos bibliográficos y de los análisis de las imágenes de satélite de los años 1984, 1990, 2000 y 2013. Estas imágenes de satélite fueron sometidas al procesamiento digital con el programa ENVI 4.7 y enseguida con estos datos generados fueron elaborados los mapas del área urbana con el Sistema de Información Geográfica ArcGis desktop 10. Los parámetros para el marco climático son los datos bibliográficos y los datos del Observatorio Meteorológico de Natal.

PARTE II - LA ISLA DE CALOR URBANA

CAPITULO 4. CARACTERISTICAS Y EVOLUCIÓN DE LAS ISLAS DE CALOR URBANAS DE NATAL

Este capítulo tiene como objetivo el análisis de la isla de calor en la ciudad de Natal a través de los análisis de las series largas. Los datos utilizados fueron las temperaturas máximas y mínimas y los parámetros son la intensidad, la frecuencia y las variaciones espaciales y temporales del periodo de 1995 a 2010. La caracterización se ha evaluado entre dos estaciones meteorológicas convencionales de dos lugares distintos, la Estación Meteorológica de Natal, perteneciente Instituto Nacional de Meteorología (INMET), y la del Aeropuerto Internacional Augusto Severo, ubicado en el municipio vecino de Parnamirim.

CAPITULO 5. EL PADRÓN DE DISTRIBUCIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA TEMPERATURA DEL AIRE DE NATAL

Este capítulo tiene como objetivo el análisis de las islas de calor urbanas atmosféricas (ICUA) y de las islas de frescor urbanas atmosféricas (IFUA) de la ciudad de Natal a través de las análisis de los transectos móviles. Para medir las temperaturas del aire de la ciudad, se han utilizado siete recorridos correspondientes a los años de 2011, 2012 y 2013 además del dato histórico del año de 1990.

CAPITULO 6. EL COMPORTAMIENTO ESPACIO-TEMPORAL DE LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE DE NATAL

Este capítulo tiene como objetivo el análisis de las islas de calor urbanas superficiales (ICUS) y de las islas de frescor urbanas superficiales (IFUS) de la ciudad de Natal a través de las temperaturas de superficie (TS) de las imágenes de satélite. Para obtener las temperaturas superficiales de la ciudad se han utilizado 10 imágenes correspondientes a los años 2011, 2012 y 2013, además del dato histórico del año de 1990 del satélite Landsat, y estas mismas fechas corresponden a los datos de la temperatura del aire de los transectos.

PARTE III - EL RÉGIMEN BIOCLIMÁTICO

CAPITULO 7. EL RÉGIMEN BIOCLIMÁTICO MEDIO DE NATAL

En el presente capítulo se describe el análisis del confort térmico en la ciudad de Natal a través de los análisis de los datos de los transectos de campo y de las series largas. Los parámetros son las temperaturas máximas y mínimas medidos en los recorridos de los meses de julio y octubre de 2011, enero, abril, julio y octubre de 2012 y enero de 2013, así intercalados para abarcar las cuatro estaciones del año, y de las series largas diarias del periodo 1995 a 2010. El índice de confort térmico utilizado fue el índice termofisiológico *Universal Thermal Climate Index* (UTCI). La caracterización del índice de confort térmico UTCI se ha evaluado y calculado con el programa Bioklima 2.6 (Blazejczyk, 2010) y los mapas con el programa ArcGis 10.

CAPITULO 8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

CAPÍTULO 2 EL CLIMA URBANO EN EL CONTEXTO DE LA CLIMATOLOGÍA ACTUAL

2.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo describe una recapitulación de los principales conceptos y teorías sobre el clima urbano, además de un breve resumen sobre los estudios de clima urbano en el mundo y en Brasil, acercándose a los estudios de confort térmico y del clima urbano sobre la ciudad de Natal, Brasil.

En el clima urbano hay muchos conceptos y elementos involucrados. Por eso, se pretende abordar algunos de los principales conceptos de la temática entre estos, el clima urbano, las islas de calor urbanas, la capa límite, el confort térmico, las imágenes por satélite térmicas, entre otros. En cuanto a los estudios sobre de clima urbano, tanto en Brasil como en el mundo, se toman como base algunos criterios, entre estos se priorizan los estudios públicos de tesis doctorales, disertaciones de máster y artículos científicos, disponibles en los últimos cinco años, y se ponen por delante los relacionados con el clima urbano y el régimen bioclimático tropical.

La base teórica desarrollada es de fundamental importancia para conducir los argumentos y proposiciones de la tesis. Los resultados de los análisis de los estudios de clima urbano en el mundo y en Brasil serán tomados para comparar con el área objeto de este estudio y, de igual forma, serán comparados los estudios de régimen bioclimático. Así, tanto el soporte conceptual como las referencias de los estudios científicos sirven de fundamento para la tesis.

2.2. RECAPITULACIÓN CONCEPTUAL

En los estudios de clima urbano son muchos los aspectos y los elementos teóricos y conceptuales involucrados. A continuación se reflexiona sobre algunos de estos principales conceptos y aspectos relacionados con el clima urbano: la ciudad, el clima urbano, la isla de calor urbana, la capa límite, los transectos, las imágenes térmicas, el confort térmico y otros relacionados.

La ciudad es el escenario principal donde se desarrollan la acción modificadora del hombre en el medio natural.

El espacio urbano según Capel Saez (1975) se define a partir de dos criterios fundamentales: la densidad y la morfología. La densidad está relacionada con la concentración permanente de una población en un espacio relativamente reducido. La morfología es el reflejo de la densidad a través de la utilización y modificación del suelo natural o rural. Así, la concentración poblacional y sus manifestaciones en la morfología de un determinado espacio provocan cambios ambientales y en consecuencia en el clima local.

El objeto de investigación de esta tesis es el espacio urbano de la ciudad de Natal, la capital del estado del Rio Grande do Norte, en Brasil,

El clima urbano está directamente relacionado con las condiciones atmosféricas que imperan en las ciudades.

Chadler (1976) define el clima urbano como una consecuencia de la sustitución de las formas naturales por las artificiales, con eso el hombre ha cambiado las propiedades y los procesos físicos y químicos en la interface suelo aire en las ciudades. Este cambio de las formas del campo, agrícolas y forestadas por el hormigón, ladrillo, vidrio y asfalto, afectan a las condiciones hidrológicas, aerodinámicas, las masas de aire y las condiciones térmicas en la capa límite atmosférica. Como consecuencia, las propiedades meteorológicas del aire en el interior y por encima de las zonas urbanas se cambian formando un nuevo tipo climático local el clima urbano.

El clima urbano es un claro ejemplo de las modificaciones impuestas por el hombre en la naturaleza, se realiza en términos de comparación con su entorno más próximo y está relacionado con las modificaciones del equilibrio térmico del sistema de la atmósfera de la ciudad (Fernández García, 1996).

Para entender el clima urbano y sus aspectos involucrados, Monteiro (Monteiro y Mendonça, 2003) desarrolló la teoría Sistema Clima Urbano (SCU) en 1975. El autor define el clima urbano como un sistema que engloba el clima de un determinado espacio y su área urbana correspondiente. Así propone la teoría Sistema Clima Urbano específica para estudiar el clima urbano. El desarrollo de la teoría implica el clima urbano como un sistema abierto formado por tres subsistemas: el termodinámico, el físico-químico y el hídrico, que a su vez están vinculados respectivamente a los tres canales de percepción siendo, el confort térmico, la calidad del aire y el impacto meteorológico. El canal del confort térmico está relacionado con los elementos termodinámicos del clima y expresa la relación naturaleza-hombre. El canal de la

calidad del aire está relacionado con los elementos físicos y químicos del y expresa una responsabilidad humana. El canal del impacto meteórico está relacionado con los fenómenos atmosféricos y expresa la acción de la naturaleza.

Esta tesis se centra fundamentalmente en el subsistema termodinámico y el respectivo canal de percepción del confort térmico de la teoría SCU.

Los mecanismos que intervienen en el clima local están a su vez relacionados con el clima regional. La distinción se hace por las diferencias de escala, las condiciones locales y el balance de energía que ejercen sobre los elementos meteorológicos. Así, el clima urbano es el reflejo de tres componentes principales: la morfología de la ciudad formada por calles, plazas, grandes superficies edificadas, altos edificios, industrias; los distintos tipos de materiales como, hormigón, ladrillo, acero, vidrio, plásticos, asfalto, etc.; y el aporte de las fuentes artificiales de energía, la calefacción, refrigeración, automóviles, motores y fábricas. El conjunto de estos componentes asociados a la dinámica de las actividades humanas intervienen en el flujo normal de energía y cambia el clima local o el clima urbano (Cuadrat & Pita, 2011).

La capa límite atmosférica es el sector más bajo cercano a la superficie influida por el efecto de la rugosidad urbana. En esta capa ocurren grandes oscilaciones térmicas, de humedad y en la dirección del viento, y su espesor es muy variable, incluso en el ciclo diurno (Figura 2.1). Por eso, debido a los intercambios de turbulencia en la capa límite no se la puede representar completamente en modelos climáticos de circulación general (Henderson-Sellers & McGuffie, 1990).

En la llamada "capa límite urbana" (*urban boundary layer*) ocurren cambios muy significativos en relación con el clima. En las ciudades, al contrario que en los espacios rurales, el conjunto de estas anomalías térmicas provoca cambios en la atmósfera local y son muy perceptibles por la población. De hecho, el clima urbano refleja toda esta dinámica climática de la ciudad (Gil Olcina & Olcina Cantos, 2006).

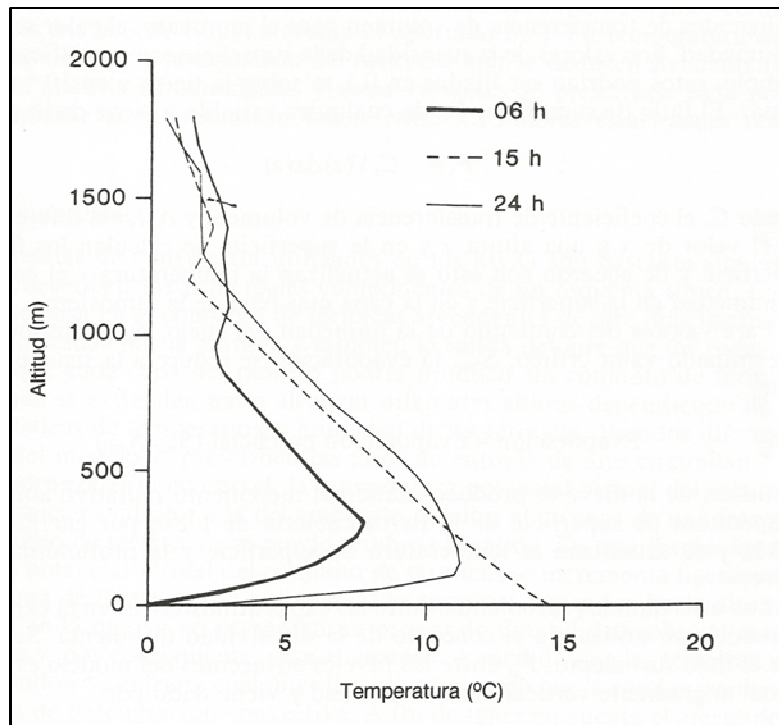


Figura 2.1 - Variación de la temperatura diurna en invierno en la capa límite del planeta.
Fuente: Henderson-Sellers, A.; McGuffie, K. 1990

En la capa límite los elementos meteorológicos de una superficie urbana son muy peculiares y diferentes de una otra capa límite que esté cubierta de vegetación. En el área urbana son muchos los elementos que interfieren en el mesoclima o microclima como, la rugosidad del área urbana, los edificios, el retraso del flujo de calor es más pronunciado en el área urbana, la variación considerable de los cañones urbanos, entre otros. Por eso el mejor elemento de investigación de los cambios atmosféricos en la capa límite de una superficie urbana son las calles y su entorno inmediato de los cañones urbanos (Holton, 2003).

Hay que subrayar que en esta tesis todas las mediciones de los elementos meteorológicos en los transectos fueron en su totalidad realizados en los cañones de los espacios abiertos de las calles y avenidas de la ciudad de Natal. Además, la rugosidad del área edificada urbana es lo suficientemente grande como para que se haga la investigación experimental detallada de los elementos meteorológicos.

Las islas de calor urbanas son el reflejo de las condiciones térmicas inducidas por las áreas urbanas en la atmósfera local.

Según Oke (1987), las islas térmicas se caracterizan porque el aire en el dosel urbano suele ser más cálido que el medio rural de los alrededores o el campo circundantes de la ciudad y esto forma las islas de calor urbanas (*urban heat island*). La capa límite urbana (*urban boundary layer*) es un fenómeno local de mesoescala, cuyas características se rigen en general por la naturaleza de la superficie urbana. La capa del dosel urbano (*urban canopy layer*) se localiza por debajo del nivel del techo de los edificios, y sus características actúan en los procesos a escala micro que operan en las calles entre los edificios (Figura 2.2).

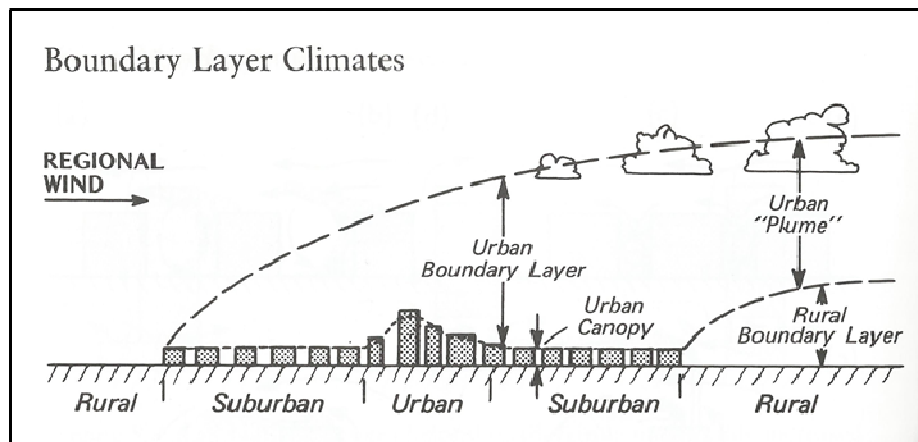


Figura 2.2 - Representación de los principales elementos de la atmósfera urbana.
Fuente: Oke, 1987

Oke (1987) define la isla de calor urbana como la diferencia de la intensidad entre los valores de la temperatura del área urbana y la rural, siendo:

$$\Delta T_{u-r} = T_u - T_r$$

De acuerdo con Holton (op. cit., 2003), la principal característica conocida del clima urbano es la isla de calor, que es el aumento pronunciado de la temperatura del aire cerca de la superficie de una ciudad en comparación con su entorno rural. De acuerdo con el citado autor, las diferencias térmicas más fuertes se producen algunas horas después de la puesta del sol. Esto se atribuye a las condiciones específicas de radiación dentro de las estructuras urbanas, en las que la difusión de calor es mas turbulenta que en las áreas rurales, y también debido a la liberación del calor antropogénico.

Según Voogt (2008) en general hay tres tipos de islas de calor urbanas, la isla de calor de la capa del perímetro (ICCP), la isla de calor de la capa del dosel (ICCD) y la

isla de calor de la superficie (ICS). La ICCP es la capa más alta localizada por encima del dosel urbano, que de día puede tener aproximadamente 1 kilómetro o más de espesor y menos a la noche. La ICCD es la capa más cercana a la superficie y se extiende hasta la altura de las edificaciones. La ICS es la capa de la superficie o del suelo urbano. Las temperaturas del aire de la ICCP e ICCD se miden con termómetros, y la ICS mediante las imágenes térmicas a través de los sensores remotos.

Barry y Chorley (1999) explica que las islas de calor urbanas de clima tropical, tienen las mismas propiedades de los climas más fríos, pero suelen tener algunas diferencias. Entre las principales diferencias destacase que, las islas de calor tropicales son en general más débiles que en los climas más fríos, las temperaturas máximas sufren las influencias introducidas por las tormentas convectivas diurnas y las brisas diurnas influyen en las temperaturas más frescas. En otros casos, las tasas de enfriamiento y calentamiento de las áreas urbanas tropicales son más lentas que las de zonas rurales del entorno y esto hace que el efecto de las islas aparezca en las ciudades tropicales al amanecer. También en algunos casos en los que, en la estación más seca, de noviembre a marzo, las temperaturas rurales por la mañana son más altas que las urbanas, y ocurre al contrario por las tardes, las temperaturas urbanas son más calientes que las rurales.

Los transectos, los datos meteorológicos de estaciones meteorológicas fijas y móviles y las imágenes térmicas son actualmente las técnicas más utilizadas para determinar los cambios térmicos en las áreas urbanas.

Burroughs (2001) aclara que las medidas de la temperatura de la superficie empezaron de forma rudimentaria con los primeros satélites en la década de 1960. A partir de la década de 1970, fueron desarrollados los sensores de radiómetro de infrarrojo, que permitían analizar la cantidad de radiación terrestre emitida de la superficie y de la atmósfera en diferentes longitudes de onda, posibilitando hacer las mediciones de la temperatura en diferentes niveles de la atmósfera. Entre otras contribuciones, las imágenes de satélite permiten hacer una exacta observación de superficie, con regularidad y repetitividad a lo largo del tiempo.

Almendros Coca (2004) describe las ventajas y las fases de elaboración de los transectos. Entre las principales ventajas de los transectos se encuentra que (i) es un estudio de naturaleza empírico y permite hacer correcciones entre los datos, (ii) hay una simplificación de la logística, de uno o más observadores, (iii) existe la posibilidad de

utilizar y comparar las mediciones con otros estudios, (iv) se puede realizar en días alternados, y (v) principalmente se da la posibilidad de obtener mapas modelos de la ciudad para cualquier tiempo y época del año. En las fases de elaboración, primero parte del proyecto de los itinerarios, después hace el cruce de los itinerarios modelos, ajusta los datos a un único mínimo de 0°C y por último hace el control de la calidad y contraste de los datos.

Barry y Carleton (2001) explica que la climatología sinóptica examina las relaciones entre las condiciones climáticas locales y regionales. En los estudios climáticos urbanos los datos meteorológicos sinópticos se utilizan para identificar las principales características de la circulación atmosférica y de los fenómenos meteorológicos asociados.

En este estudio fueron añadidas las condiciones meteorológicas de la ciudad de Natal y las situaciones sinópticas regionales para cada día de muestreo. Ambos casos de acuerdo con las informaciones ofrecidas por el Centro de Previsión del Clima y Estudios Climático (CPTEC) del Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) de Brasil.

El confort térmico es una implicación del efecto térmico de la atmosfera urbana sentida por la población. Así el confort térmico es el estado de bienestar térmico sentido por la población en un determinado lugar. Por consiguiente, al contrario del estado de confort térmico viene el estado de estrés térmico que puede tener tanto impactos directos como indirectos. Entre los impactos directos, uno de los que más afectan directamente al bienestar de los residentes en las ciudades es el estrés muy fuerte y extremo que pueden traer serios problemas para la salud humana y hasta la muerte en la población de riesgo los niños y mayores. Los impactos indirectos pueden por su vez afectar las actividades económicas y aumentar la propagación de enfermedades transmitidas por vectores y también el aumento de la demanda de energía para la refrigeración (Holton, Curry & Pyle, 2003)

En el siglo pasado se desarrollaron cerca de 100 índices de confort térmico. Para hacer frente a las incertidumbres de tan gran cantidad de índices, fue desarrollado el nuevo índice universal de confort térmico (UTCI) en febrero de 2009. Este nuevo índice de confort térmico puede ser aplicable en cualquier clima (Krzysztof et al., 2010)

Debido a esta variedad de índices, la *International Society on Biometeorology* (ISB) a través de la Acción COST 730 (Cooperación en Ciencia y Desarrollo

Tecnológico) de la Unión Europea ha desarrollado el nuevo Modelo de Adaptación Fisiológica, el *Universal Thermal Climate Index* (UTCI) en febrero de 2009 (Błażejczyk et al., 2010).

El UTCI se define como la temperatura del aire (TA) que produciría en condiciones de referencia térmica la misma respuesta como en el ambiente térmico real. Por lo tanto, el concepto del UTCI se desarrolló para evaluar la respuesta fisiológica del hombre a las condiciones térmicas externas. El UTCI está basado en una combinación de variables como, el viento, radiación, humedad y temperatura del aire. El UTCI comprende los siguientes rangos climáticos: temperatura del aire entre -50°C a 50°C; velocidad del viento entre 0,5 a 30m/s y humedad relativa del aire entre 5% a 100%. Las categorías de estrés térmico del índice UTCI va de estrés extremo por frío a estrés extremo por calor ver en el Cuadro 2.1. (Jendritzky et al., 2009).

Cuadro 2.1 - Índice de confort térmico universal (UTCI), escala de evaluación categorizados en términos de estrés térmico

UTCI (°C) range	Stress Category
above +46	extreme heat stress
+38 to +46	very strong heat stress
+32 to +38	strong heat stress
+26 to +32	moderate heat stress
+9 to +26	no thermal stress
+9 to 0	slight cold stress
0 to -13	moderate cold stress
-13 to -27	strong cold stress
-27 to -40	very strong cold stress
below -40	extreme cold stress

Fuente: *Glossary of Terms for Thermal Physiology* (2003). *Journal of Thermal Biology* 28, 75-106 (<http://www.utci.org>).

El índice de confort térmico universal (UTCI) se define como una temperatura ambiente equivalente (TA) de un entorno de referencia que proporciona la misma respuesta fisiológica de una persona de referencia en el entorno real. Por lo tanto, UTCI es la temperatura del aire que produciría en condiciones de referencia la misma condición térmica como en el ambiente térmico real. La escala de sensaciones asociada

consta de 10 categorías: el estrés por frío extremo - muy fuerte estrés por frío - un fuerte estrés por frío - frío estrés moderado - leve estrés por frío - sin estrés térmico - calor moderado estrés - fuerte estrés por calor - muy fuerte estrés térmico - el estrés por calor extremo. Las condiciones de referencia se definen así:

- Velocidad del viento (v) de 0,5 m/s a 10 m de altura (o aproximadamente 0,3 m/s a 1,10 m).
- Temperatura radiante media (T_{mrt}) igual a la temperatura del aire.
- Presión de vapor (VP) relacionado con una humedad relativa de 50%, en temperatura del aire ($> 29^{\circ}\text{C}$). La humedad de referencia fue tomada constante a 20 hPa.
- Tasa metabólica de 2,3 MET (135 Wm^{-2}) referente a actividad de una persona que camina con una velocidad de 4 km/h (1,10 m/s).

Por lo tanto, la temperatura de UTCI para una combinación dada de viento, radiación, humedad y temperatura del aire se define como la temperatura del aire en la condición de referencia de los elementos del tiempo a la que se calcula el índice (Krzysztof et al., 2011).

El UTCI es un índice versátil, aplicable a todos los lugares independientemente del tipo de clima además de ser universalmente reconocido. Por esas características, fue elegido como el índice de confort térmico en este estudio para evaluar el régimen bioclimático de la ciudad de Natal.

La teledetección es una técnica moderna y muy sofisticada para monitorizar los parámetros meteorológicos en las áreas urbanas, en especial, la temperatura de la superficie. Los sensores suborbitales del infrarrojo termal registran datos del espectro electromagnético que pueden ser utilizados para obtener una información espacial cuantitativa detallada sobre los efectos de las islas de calor urbanas (Jensen, 2009).

De modo esquemático se puede determinar la temperatura de la superficie en la banda espectral del infrarrojo térmico o lejano entre 8 a $14\mu\text{m}$, banda en la cual se detecta el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres y es un elemento clave para los aspectos climáticos. El cálculo para determinar la temperatura de la superficie viene de los números digitales ND detectados por el sensor del infrarrojo térmico. Así, la radiación que emite un objeto es una función de su temperatura de acuerdo con la ley de Plank. El flujo emitido en el suelo eliminando las influencias atmosféricas determina la temperatura de los objetos. Los actuales estudios

de clima urbano utilizan cada vez más las temperaturas de la superficie para determinar las islas de calor urbanas (Chuvienco, 2002).

Este estudio utilizó de las imágenes del Satélite Landsat corresponden los años 2011, 2012 y 2013 además del dato histórico del año de 1990, para determinar los cambios en la morfología urbana, los cálculos del NDVI y por supuesto las temperaturas de superficie (TS) y para analizar las islas de calor el Natal.

2.3. CLIMA URBANO Y LAS PRINCIPALES LINEAS DE INVESTIGACIÓN

De los estudios de clima urbano en el mundo serán presentados los más recientes disponibles de los últimos cinco años, especialmente los relacionados con el clima urbano, las islas de calor y el régimen bioclimático, en primer lugar el clima tropical seguido de los otros tipos de clima regionales. De cada estudio serán priorizados cinco aspectos principales que son, el objetivo del estudio, la localización del área de estudio, la metodología empleada, los principales rasgos o resultados y conclusiones.

Fernández García (2010) presenta un estudio que reflexiona sobre las relaciones de la ciudad y el cambio climático. Primero aborda el hecho de que el calentamiento global es inequívoco y afecta a otros aspectos del clima. Las relaciones entre la ciudad y el clima implica analizar dos fenómenos similares pero a diferentes escalas. Las ciudades contribuyen al cambio climático de forma directa debido a las emisiones de más de 80% de los gases del efecto invernadero, al elevado consumo de energía y la enorme huella ecológica urbana. El calentamiento global agrava el aumento de las olas de calor y en España eso es un aspecto que implica gran estrés térmico a la población. En las ciudades la isla de calor es un fenómeno de carácter local con escasa incidencia en el calentamiento global.

Sobrino et al (2009) han desarrollado una destacada investigación con el objetivo de estudiar la isla de calor en Madrid, patrocinado por el proyecto DESIREX 2008 (Dual Use European Security IR Experiment 2008) de la agencia espacial europea. La campaña fue en el verano de 2008 (junio y julio). La metodología utilizó tres fuentes de datos, (i) imágenes multiespectrales a bordo de avión, (ii) datos atmosféricos de la AEMET a partir de sondeos de altitud con globo cautivo, mediciones de aerosoles y datos de la red estaciones meteorológicas, y (iii) y medidas a nivel de superficie, para calibración radiométricas, termografía urbana y transectos móviles. Los resultados mostraron en los mapas de la temperatura de la superficie una isla de calor nocturno con

el máximo de madrugada y nula en el día. A partir de las imágenes del sensor AHS se ha obtenido un mapa de clasificación donde se han llegado a diferenciar 12 clases distintas de superficies.

Un estudio sobre la urbanización y la temperatura del aire en Nairobi, la capital de Kenia, fue desarrollado por Ongoma, Muthama y Gitau (2013). La metodología utilizada estaba basada en los datos de seis estaciones meteorológicas de Nairobi y cercanías entre 1970 y 2010. También fueron utilizados los datos mensuales del satélite (MODIS) desde agosto 2002 a diciembre de 2005 con una resolución de 500 m y datos de los censos demográficos. Los resultados muestran que las temperaturas mínimas están aumentando más rápido que las máximas, debido a los efectos de la urbanización y del calentamiento global. La ciudad tropical ha experimentado una disminución de la reflectividad que indica el crecimiento de la ciudad. La población se ha triplicado en casi dos décadas (1988-2008).

La isla de calor urbana en la ciudad de Akure, una ciudad tropical al suroeste de Nigeria, fue estudiada por Balogun et al. (2012). Las investigaciones se han realizado basados en dos puntos fijos, uno en la ciudad y otro en el aeropuerto ubicado a 15 km a las afueras de la ciudad. El experimento se llevó a cabo en el período de octubre de 2008 y septiembre de 2009. Los resultados muestran que la ICU se ha observado y se producen durante todo el día y la noche. Las islas de calor en la estación seca fue más frecuente durante el periodo nocturno (de 4°C). Al contrario, en los meses de lluvia la isla de calor durante el día (de 2°C) se observa que es más intensa que la noche.

Fernández García et al. (2004) desarrollaron un estudio con el objetivo de evaluar la influencia de la morfología y estructura urbana sobre el campo térmico de la ciudad de Madrid. La metodología seguida en este estudio fue de los transectos de campo. Las mediciones de la temperatura del aire fueron en los años de 1992 y 1993 y se utilizaron 170 puntos de muestreo agrupado en tres trayectos y también fueron elaborados distintos índices de urbanización. Los resultados indican que la temperatura en un punto está influida por la morfología del entorno de 1 km de distancia. Concluyen que la estructura espacial térmica de las IT es de una típica isla de calor urbana, con mayores temperaturas en el centro, que disminuyen en la periferia, además las temperaturas están íntimamente ligadas a la morfología de la ciudad.

Un estudio sobre las islas de calor urbanas (ICU) en Nueva Delhi, la capital de la República de la India, fue desarrollado por Mohan et al. (2012). El objetivo fue evaluar

y comparar espacial y temporalmente las ICU con métodos de mediciones *in situ* y teledetección. Delhi presenta condiciones climáticas tropicales y ha crecido a pasos agigantados en las últimas tres décadas, alcanzó más 13,78 millones de habitantes en 2001. La campaña se llevó a cabo en el verano de 2008 a través de 27 microestaciones meteorológicas dispersas en la ciudad y se midió la temperatura del aire y la humedad relativa. Los resultados mostraron que la ICU es más intensa durante el verano en las horas de la tarde (3,8°C a 7,6°C a las 15:00) y nocturnas (2,8°C a 8,3°C a las 21:00) y menos intensas por las mañanas (4,1°C a 5,6°C). Las ICU son más fuertes en las áreas de gran densidad, pobladas y comerciales. También fueron utilizadas las imágenes Modis Terra para comparar con las mediciones *in situ*. Así, la comparación entre las mediciones *in situ* con los datos de satélite presentaron los siguientes resultados, dos de las microestaciones meteorológicas presentaron datos muy semejantes y comunes durante el periodo del día y cinco microestaciones en la noche. Por lo tanto, la comparación entre las mediciones *in situ* con los datos de satélite es menor de día y mayor de noche.

La intensidad media y máxima de las islas de calor en las tres principales ciudades de Tailandia la investigaron Jongtanom et al. (2011). Como sitios de estudio fueron seleccionadas las tres más grandes e importantes ciudades de Tailandia. La capital Bangkok con 3,7 millones de habitantes está situada a 2 m sobre el nivel del mar. Chiang Mai está localizada al norte y Songkhla al sur. El clima predominante es tropical húmedo, con tres estaciones, a saber, el verano, la temporada de lluvias y el invierno. Fueron utilizados los datos de dos estaciones meteorológicas (una estación urbana y una estación rural) en cada sitio del período de 2004 a 2008 para calcular la intensidad de la ICU. Los resultados mostraron que las temperaturas del aire en los sitios urbanos eran más altos que en la mayoría de los sitios rurales. Los análisis mostraron que las islas de calor urbanas fueron más débiles en la temporada de lluvias (mayo a octubre) y mayor en la estación seca (noviembre a abril). Las máximas intensidades de las ICU ocurrieron en Bangkok a las 14:00 con 2,24°C, en Chiang Mai a las 07:00 con 2,73°C, y en Songkhla a las 22:00 con 2,42°C.

Van y Bao (2008) realizaron un estudio sobre el desarrollo urbano a través de la temperatura superficial del suelo mediante el uso de sensores remotos en la ciudad de Ho Chi Minh, capital de Vietnam. La ciudad está ubicada en el sur de Vietnam, de clima tropical húmedo, ha pasado por acelerado desarrollo urbano desde el final de 1980

y tiene una población de más de 6 millones de habitantes (2005). La metodología utilizada fue la cartografía de superficie y evaluación de imágenes infrarrojas termales de las imágenes de dos imágenes de Landsat y Aster, de los años 1989 y 2006. El área urbana del norte de Ho Chi Minh, ha ampliado su área por 6,5 veces desde 1989 hasta 2006. Las imágenes térmicas indicaron que la temperatura más alta se incrementó de 39,8°C en 1989 para a 49,4°C en 2006. Las islas de calor se concentran en la parte central de la ciudad y en las zonas industriales, con las temperaturas más altas superiores a 45°C. Las temperaturas del área urbana se han incrementado en el período entre 1989 y 2006, las mínimas en 1,3°C y las máximas en 4,4°C. Además, la circulación del viento en las zonas urbanas está limitada por la elevación del edificio. En las zonas suburbanas y rurales, donde las tierras agrícolas aún se mantienen con la cubierta vegetal total, las temperaturas son menores.

Córdova Sáez (2011) elaboró un estudio de los impactos de las islas térmicas en el ambiente y en la salud humana en Caracas, Venezuela. La ciudad se encuadra en el clima tropical de altitud y está ubicada a 900 m de altura. Como metodología fue empleada la teledetección y complementada con datos de observatorio meteorológico. Se seleccionaron dos imágenes del satélite LANDSAT 7 ETM+, correspondientes al final del período húmedo en octubre de 2009 y al período seco en marzo del 2010. Los resultados mostraron significativos aumentos de temperatura en todo el valle de Caracas, incluso en sectores de menor densidad constructiva y con mayor presencia vegetal. En marzo de 2010 el estudio comprobó anomalías térmicas de +10°C en las temperaturas superficiales urbanas y asociado con las densas brumas de los incendios ha causado problemas de salud (alergias, problemas bronquiales, etc.) en la población de Caracas. Concluye que el uso de las geotecnologías será fundamental para apoyar a los gestores públicos en las acciones de mitigación de riesgos ambientales y sanitarios rigurosos.

El análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua en Chile y sus factores explicativos fueron investigados por Sarricolea et al. (2008). El objetivo del estudio fue analizar la máxima intensidad de la isla de calor urbana de Rancagua. La ciudad tiene un clima típico mediterráneo con veranos cálidos y secos e inviernos frescos lluviosos. Las temperaturas oscilan entre 22°C a 7°C, está ubicada a 500 m de altitud y tiene una población de 273.822 habitantes. La metodología utilizada fue la de mediciones de las temperaturas con

transectos móviles y estaciones meteorológicas fijas, complementada con las imágenes de satélite para determinar el índice de NDVI. El estudio comprobó que la isla de calor de la ciudad es nocturna y poli-concéntrica en la parte central para la periferia. Las islas son mayores en verano y primavera con máximas entre 5,4°C y 3,2°C. Los matices que influyen en la distribución térmica de la ciudad corresponden a las variaciones de la distancia de las fuentes húmedas, la densidad de población, la topografía y los valores del NDVI.

El fenómeno de la isla de calor urbano en la ciudad San Juan, Puerto Rico fue analizado por Comarazamy et al. (2007). El objetivo fue analizar el área metropolitana y conocer las características típicas la isla de calor urbana de San Juan. En la metodología fueron utilizados datos de cuatro estaciones meteorológicas, dos en el área urbana y dos en el área rural. Los resultados muestran que los picos de las temperaturas ocurrieron a mediados de la tarde, con un rango entre los 33°C a 35°C en áreas urbanas, y entre 26°C a 28°C en áreas suburbanas y rurales. Las bajas temperaturas alcanzaron constantemente 20°C a 22°C en la entrada de la noche (alrededor de las 10:00, estándar local). Los resultados del estudio concluyen que el área de San Juan está creciendo y envolviendo el área rural cercana. La ICU está presente sobre las zonas comerciales del centro con intensidades elevadas entre 5°C y 10°C y también en el área este a oeste de la ciudad. Las ICU son más comunes con tiempo estable al contrario del período de lluvias que afecta fuertemente el patrón de la ICU sobre San Juan, incluso con precipitaciones débiles. Los resultados del estudio demuestran que la influencia de la ciudad de San Juan en la temperatura del aire local pudo ser cuantificada en un aumento de entre 2,5°C y 3,0°C en las temperaturas del aire y eso también influye en una aceleración de los vientos en la zona. Los picos de la ICU de San Juan ocurren sobre las últimas horas de la mañana y por la tarde.

Los anteriores estudios presentan algunos resultados con rasgos en común para cuatro ciudades tropicales. En general presentan isla de calor más intensa en el periodo del verano o de sequía (Akure y Nueva Delhi), las ICU son más intensas en el periodo diurno (Nueva Delhi, Bangkok, San Juan) y en todas las ciudades el sector central siempre es más caliente que la área rural.

2.4. BREVE RESUMEN DE ESTUDIOS DE CLIMA URBANO EN BRASIL

Los estudios de clima urbano en Brasil comenzaron en la década de 1970 y en especial con la contribución de la teoría sistema clima urbano de Monteiro, que fue sin duda el marco que ha canalizado muchos de los estudios posteriores (Monteiro & Mendonça, 2003). La producción científica brasileña de estudios en el área de clima es extensa. Por eso, nos centraremos solamente en los destacados estudios (pioneros), libros, tesis doctorales o disertaciones.

Hay una gran diversidad de estudios referentes al clima urbano en Brasil, aplicados al estudio de las islas de calor y diversas posibilidades metodológicas combinadas tales como estudios comparativos de las series largas de temperaturas entre estaciones meteorológicas urbanas y rurales, estudios utilizando una red de estaciones meteorológicas dispersas por todo el tejido urbano, el método de los transectos móviles y el uso y difusión de las imágenes térmicas de sensores de teledetección orbital (Fialho, 2012).

Una importante y destacada contribución al estudio del clima en Brasil fue hecho por Zavattini (2004). En este, fueron detalladamente evaluados 108 estudios científicos entre tesis doctorales y disertaciones desarrolladas y publicadas en algunas universidades brasileñas entre los años de 1971 hasta 2000. De estos estudios, un número considerable de más de 40 se referían a la climatología urbana.

Otro importante estudio evaluativo de la temática clima publicado en Brasil fue desarrollado por Assis y Pereira (2006). En este, fueron detalladas la producción brasileña sobre el clima urbano, confort ambiental y eficiencia energética en los últimos diez años (1995-2005). El trabajo fue elaborado para las centrales eléctricas brasileñas (Eletrobras). En total fueron más de 170 trabajos sobre clima en Brasil, entre libros, capítulos de libros, tesis, disertaciones y artículos científicos. De ese total, alrededor del 77% fueron publicados por grupos de investigación de arquitectura o ingeniería, mientras que el 23% eran grupos de geografía y meteorología, todos desarrollados en 23 instituciones brasileñas de investigación. La variable más estudiada fue la temperatura del aire, pero solamente el 10% de los temas estudiados son referentes al estudio de las islas de calor urbanas y de este total, el 47% utilizaron la metodología de estaciones meteorológicas fijas o móviles.

A continuación se presenta un breve resumen de algunos estudios de clima urbano en Brasil que describen prioritariamente las islas de calor y de frescor urbanas. De estos estudios, fueron elegidos cinco ciudades debido a dos razones principales. En primer lugar, debido a la diversidad de climas en Brasil fueron escogidas las ciudades con similares características climáticas y con características urbanas similares en relación a Natal. Estos estudios presentan los cinco aspectos principales que son el objetivo del estudio, la localización del área de estudio, la metodología empleada, los principales rasgos o resultados y conclusiones.

Brandão (2003) desarrolló un destacado estudio sobre el clima urbano en la metrópoli de Rio de Janeiro en el año de 1996 (*O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro*). La metodología utilizada en este estudio se basa en los transectos móviles, de estaciones meteorológicas fijas y datos meteorológicos y sinópticos. Los transectos fueron en el año de 1994 (abril y julio), en 1995 (mayo y agosto) y en 1996 (abril). Los resultados encontraron varias islas de calor y de frescor con intensidades y temporalidades distintas en el área de la ciudad. Los sistemas sinópticos predominantes fueron con el anticiclón polar muy inestable y no favorable a la formación de islas de calor pero en la presencia del anticiclón subtropical con cielos abiertos y despejados es un tiempo muy favorable a la formación de islas de calor. Las mayores intensidades de las islas de calor fueron con vientos débiles, cielos despejados y en la acción del anticiclón subtropical y el anticiclón polar. Los resultados muestran que las islas de calor en la ciudad tienen máxima intensidad a las 15 h y 21 h, en período de invierno y otoño bajo el dominio del anticiclón subtropical y polar. Las intensidades de las islas son de moderada a fuerte (4°C a 5°C). Fue diagnosticada la presencia de las islas de frescor, muy a menudo en las áreas verdes como en el parque del Jardim Botânico, una de las más grandes de la ciudad. En este caso específico, las islas de calor se desvanecieron en el período nocturno debido a la actuación de paso de una frente frontal, con inestabilidad, lluvia, alta humedad y nubosidad.

Un estudio sobre la distribución geográfica de las temperaturas de la superficie en la ciudad de Recife (distante 286 km de Natal) fue elaborado por Moreira y Galvêncio (2007). La metodología utilizada fue la de teledetección con las imágenes de Landsat. Los resultados revelaron que la variación espacial de las temperaturas de superficie presenta dos áreas distintas en la ciudad, una al norte y la otra al sur de la ciudad. Hay que añadir que Recife tiene la particularidad de tener su área entrecortada

por ríos y el Centro de la ciudad está formado por islas. Por eso, las áreas de temperaturas más bajas están asociadas con zonas de vegetación (bosques tropicales y manglares) y también con las superficies de agua, en especial los ríos. Concluyese que la ciudad presenta máximas islas de calor de intensidad fuerte con amplitud de 5°C en la zona Sur en el barrio de Boa Viagem.

Las islas térmicas en la ciudad de Fortaleza fueron estudiadas por Moura, Zanella y Sales (2008). La metodología utilizada fue la de estaciones fijas. Los instrumento de mediciones fueron posicionados en doce puntos de observaciones en el área urbana. El primer experimento fue en la temporada de lluvias bajo la acción del sistema sinóptico de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) y presentaron los resultados donde las islas de calor son frecuentes por la mañana y tarde con valores hasta 4,7°C. En el segundo experimento en la época seca sobre condiciones sinópticas de estabilidad atmosférica con actuación de la masa tropical atlántica (mTa) las islas de calor estuvieron presentes en todos momentos del día con niveles hasta 5°C. En los dos experimentos las islas de calor son menos frecuentes durante la noche. Como resultado Fortaleza tiene las islas de calor durante el día, en el Centro de la ciudad y en el sector suroeste y las dos áreas con bajos niveles de vegetación.

Un estudio del crecimiento urbano y las variaciones térmicas en la ciudad de São Luis hicieron Araújo y Rangel (2012). El municipio de São Luis ocupa la mayor parte de una isla, con clima ecuatorial caliente y húmedo, la temperatura media del aire es de 28°C, con vientos dominantes de NE y velocidad media de 6 m/s. La metodología utilizada en este trabajo fue de teledetección orbital y se analizaron dos imágenes termal del año 1992 y 2010. El resultado señala que hubo un aumento significativo de dos grados en la temperatura superficial de la ciudad en un intervalo de tiempo de 18 años. Específicamente el área urbana de la ciudad en el año 1992 tenía una temperatura de la superficie alrededor de 35°C y en el año de 2010 alrededor de 37°C. El estudio también muestra un predominio de temperaturas superficiales más altas en la zona de mayor densidad urbana y con la cubierta vegetal reducida. Independientemente de ese aspecto, las islas de calor se forman en diferentes partes muy urbanizadas de la zona urbana.

En estudio sobre las temperaturas del aire en la ciudad de Mossoró distante 246 km de Natal fue elaborado por Saraiva, Vale y Zanella (2012). En este estudio evaluaron las diferencias de las temperaturas del aire entre el área urbana y la rural de la

ciudad. El municipio de Mossoró se inserta en la región semiárida del noreste de Brasil, que tiene las características de altas temperaturas, aire seco y escasez de lluvia. Se utilizaron estaciones meteorológicas fijas. En el análisis fueron distribuidos seis puntos de observación, cinco en la zona urbana y uno en la zona rural en el año de 2012. Los datos fueron medidos del día 05/04/2012 hasta el 06/05/2012 durante las 24 horas del día, en un episodio de otoño. Los resultados indicaron una isla muy fuerte hasta 7,9°C al mediodía en el barrio de Santo Antonio cerca al Centro de la ciudad, un barrio con alta densidad urbana, calles pavimentadas y poca vegetación. El estudio muestra islas que las islas de calor en la ciudad de Mossoró son diurnas y las amplitudes térmicas más bajas se encuentran en el período nocturno entre las 23 horas y las 2 horas.

Barry y Chorley (2003) evaluaron que las tendencias tropicales de las islas de calor suelen ser más débiles que en las ciudades templadas, además las tasas de enfriamiento y calentamiento en las zonas urbanas son más lentas que en las zonas rurales y esto hace que el principal efecto nocturno de las islas se manifieste más temprano que en las ciudades templadas, por lo que se retrasan en el período diurno en especial por las tardes. Una conclusión preliminar sugiere que de acuerdo con los estudios anteriores presentados, las islas de calor en ciudades de baja latitud y de clima tropical predominan en el período diurno. En Rio de Janeiro (Brandão 2003) máxima intensidad de 4°C a 5°C entre las 15:00h y 21:00h, Fortaleza (Moura, Zanella & Sales, 2008) las islas de calor por la mañana y tarde hasta 5°C, en Mossoró (Saraiva, Vale & Zanella, 2012) las islas de calor en la ciudad de Mossoró son diurnas, hasta 7,9°C al mediodía.

Mendonça (2003) señala que las islas de calor nocturnas en las ciudades templadas ayudan y son de cierta forma benéficas para la sociedad especialmente en los periodos fríos. En las ciudades tropicales, sin embargo, este efecto beneficioso queda bastante diluido como consecuencia de las mayores temperaturas a lo largo del año.

2.4.1. Estudios de clima sobre Natal

A continuación señalamos algunos de los principales estudios científicos entre libros, tesis doctorales o disertaciones que en algún sentido se refieren al área de estudio que engloba la ciudad de Natal en los últimos años.

El pionero y destacado estudio sobre el clima de Natal fue desarrollado por Medeiros (1991) sobre la influencia de la morfología urbana en las alteraciones de la

temperatura del aire en la ciudad. El objetivo del estudio fue analizar la influencia de la morfología en las temperaturas del aire y para verificar la existencia de las islas de calor en la ciudad. Fue desarrollado de acuerdo con la teoría del Sistema Clima Urbano de Monteiro de 1975 basado en el canal del confort térmico. La metodología utilizada fue a través de los transectos y de estaciones meteorológicas fijas. Se realizó un transecto con 31 puntos de mediciones localizados de acuerdo con los usos del suelo entre el centro y sur de la ciudad. Las temperaturas del aire de los transectos fueron medidas en los horarios de 09:00, 15:00 y 21:00 horario local, en los días 30 y 31 de marzo y 1 de abril de 1990. Los resultados muestran que la morfología urbana de la ciudad influye en las temperaturas del aire. Hay una variación de las temperaturas más elevadas en los puntos localizados en el Centro-Sur de la ciudad que se repite a lo largo del día. Concluye que las islas de calor en la ciudad se manifiestan al atardecer y son minimizadas en la noche debido al cese de la radiación solar e incrementadas por la ventilación típica de la región. Este estudio ha sido tomado como la referencia para analizar los posibles cambios ocurridos en la actualidad en esta investigación doctoral.

Otro trabajo pionero en el área del clima fue realizado en 1982, pero relacionado al clima regional donde se localiza la ciudad de Natal. Con el tema el *Estudio de la variabilidad pluviométrica de la ciudad de Mossoró y su entorno, Brasil una contribución al estudio de la organización climática del área del estado del Rio Grande do Norte*. Esta investigación fue desarrollada con fines de carácter climático tradicional y ha utilizado los datos estadísticos de precipitaciones entre los años 1970 a 1978 y tuvo el objetivo de analizar las variaciones de las lluvias en esta región (Borges, in: Zavattini, 2004, pp. 122).

En 1998 otro pionero estudio sobre la dinámica climática en relación a las distribuciones de lluvias en el noreste brasileño fue desarrollado por Souza (1998). El estudio no se refiere al clima urbano, sino de la dinámica climática y la distribución de lluvias en la región que comprende el extremo norte del noreste brasileño. Los resultados consiguieron caracterizar la dinámica de las lluvias en la región y su influencia en las actividades económicas (In Zavattini, 2004, pp. 274-278).

La publicación específica sobre el clima de Natal fue editada por Motta (*O clima de Natal*, 2003). El libro es un importante compendio de datos meteorológicos muy a menudo relacionados con las actividades del *Centro de Lançamentos da Barreira do Inferno* (CLBI) que es una base de lanzamientos de cohetes de la Fuerza Aérea

Brasileña. Este centro fue instalado en 1965 cerca de la ciudad de Natal, debido a su estratégica posición geográfica. Actualmente ha restringido su importancia debido al nuevo centro de lanzamientos en el estado de Maranhão al norte de Brasil. Los resultados destacados hacen consideraciones sobre la atmosfera de la ciudad con una abundante cantidad de datos meteorológicos del CLBI y del Aeropuerto de Natal. Concluye el texto resaltando una curiosa conclusión: Natal es la única ciudad brasileña que tiene toda una historia bien documentada de datos meteorológicos en los últimos 40 años debido al CLBI.

La publicación sobre el medio ambiente de la Gran Natal por Nunes (2009) considerando los principales elementos físicos muestra la situación ambiental de Natal y dentro de estos hay un apartado sobre el clima. En él se destacan las principales características del clima de la ciudad, que es de tipo "As" en la clasificación de Koppen o tropical lluvioso, con verano seco (septiembre a diciembre) e invierno lluvioso (marzo a julio) y los vientos predominantes de dirección SE-NW (sureste-noroeste). Además subraya que entre los principales problemas urbanos están las inundaciones, que ocurren en los años de precipitaciones por encima de la media haciendo desbordarse las lagunas y las áreas más bajas de la ciudad y causa de muchos trastornos para la población.

2.4.2. Estudios de confort térmico con el UTCI en Brasil y en el mundo

En relación al confort térmico en la ciudad de Curitiba, al sur de Brasil, fue desarrollado por Bröde et al. (2011). El estudio utilizó el UTCI para analizar el confort térmico en la ciudad. Fue paralelamente aplicada una encuesta para evaluar el nivel de confort térmico sentido por los peatones en la ciudad de Curitiba. Los resultados sugieren que UTCI puede proporcionar predicciones útiles para la determinación del confort térmico exterior y que resume la influencia de la temperatura del aire, el viento, la humedad y la radiación en las áreas urbanas subtropicales.

Rossi (2012) hace una evaluación y destaca cuales son los principales estudios e investigaciones sobre el clima urbano en Brasil y las respectivas aplicaciones de los índices de confort térmico. Los resultados indicaron que el 60% aplicaron el índice Physiological Equivalente Temperature (PET) y el 54% de los estudios aplicaron el índice Predicted Mean Vote (PMV) y un insignificante número de estudios aplicaron el Universal Thermal Comfort Index (UTCI). El UTCI es un modelo de índice muy

reciente y con una tendencia a ser muy utilizado en los próximos estudios de confort térmico principalmente por el hecho de ser aplicable a todos los tipos de clima.

En un trabajo comparativo de la sensación térmica con el UTCI entre la ciudad de Curitiba Brasil y Glasgow, Reino Unido fue desarrollado por Kruger et al. (2012). Las medidas de campo se realizaron en Curitiba en enero y agosto de 2009 y en Glasgow en marzo y julio de 2011. La metodología se llevó a cabo durante el día en las zonas peatonales con las mediciones del microclima y la administración concomitante de sensación térmica y cuestionarios a los peatones. Los resultados sugieren que los niveles de prendas de vestir están bastante bien predichos por UTCI. En general las predicciones del UTCI a partir de datos microclimáticos medidos mostraron una buena concordancia con los votos observados calculados para condiciones de estado estacionario. En el UTCI calculado hubo discrepancias similares en ambos casos, con una ligera sobreestimación de la sensación térmica real de Curitiba y una ligera subestimación de la sensación térmica real de Glasgow.

Rossi (2012) desarrolló una tesis doctoral con el objetivo de analizar una proposición de un modelo predictivo para evaluación de la sensación térmica en espacios abiertos en Curitiba, Brasil. La metodología utilizada fue a través del levantamiento de campo, análisis de la sensación térmica real con los peatones, análisis del confort térmico con los índices PMV, PET y UTCI y la proposición del modelo predictivo de la sensación térmica para la ciudad. Los trabajos de campo fueron en enero y agosto de 2009 y junio de 2010 entre las 10:00 y 15:00 horas y simultáneamente hechas las mediciones de los datos meteorológicos y las encuestas con los peatones. Los resultados de la comparación de los tres índices de sensación térmicos (PET, PMV y UTCI), el UTCI fue el que presentó los mejores resultados entre la sensación térmica real y las respuestas predictivas por el índice. Las variables climáticas de mayor influencia en la sensación térmica real son en conjunto la temperatura del aire, la radiación solar y la temperatura radiante media.

Un estudios sobre el confort térmico en la ciudad de Stuttgart, situada en la parte suroeste de Alemania, fue desarrollado por Ketterer y Matzarakis (2012). La metodología utilizada fue a través de los índices más importantes y populares, temperatura fisiológica equivalente (PET) y el índice universal de confort térmico (UTCI). Los resultados indicaron que los mayores contrastes entre el Centro y la estación de referencia de las zonas rurales es mayor en invierno y se debilita en la

temporada cálida. La variabilidad espacial bioclimático de Stuttgart se rige principalmente por las diferencias sobre todo en la velocidad del viento. Al comparar los dos índices (UTCI y PET) las mayores diferencias se observan en los rangos extremos bajos y altos y particularmente grandes para el tiempo muy frío y muy caliente

Un escrito de la ciudad de Dar es Salaam (6°51'S, 39°18'E) en Tanzania, de clima tropical fue elaborado por Ndetto et al. (2012). La metodología utilizada fue la del índice de Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) y el índice Universal de Confort Térmico (UTCI). Los índices se calcularon con el modelo de Rayman a partir de datos meteorológicos (2001-2011) con el fin de estudiar el bioclima y las condiciones térmicas humanas de Dar es Salaam. Los resultados indican que la tarde de finales de septiembre a mayo es el período de estrés térmico. Por otra parte, el período de junio a agosto es relativamente un tiempo cómodo del año especialmente las horas de la mañana.

Fernández García y colaboradores (2012 y 2013) desarrollaron un importante trabajo sobre la isla de calor en Madrid durante los periodos cálidos a demás de analizar la evaluación de impactos y propuestas de actuación. Los resultados demostraron que la isla de calor en Madrid en el verano es más intensa por la tarde y noche (entre 17:00h a las 3:00h de la madrugada local). El patón de distribución de las temperaturas en la ciudad sigue en tres padrones térmicos distintos siendo, (i) en las zonas verdes y de baja densidad urbana registran temperaturas por debajo de la media general durante todo el día, (ii) en las zonas de mayor densidad edificada presenta valores por encima de la media en todos los períodos del día y (iii) en las áreas industriales, transporte y servicios son más cálidas durante el día y más frías durante la noche. El índice de confort térmico utilizado fue la temperatura fisiológica equivalente (PET) a partir de una combinación de la temperatura del aire, la humedad, el viento, la radiación y la temperatura de la superficie. Los valores del índice PET oscilaron entre 27,5°C a 42,1°C que corresponden a sensaciones térmicas de cálidas y muy cálidas. Las zonas de la ciudad con impactos fuerte o muy fuerte son los amplios sectores del centro de Madrid.

2.5. CONCLUSIÓN

El marco teórico es el grupo central de conceptos y teorías que se utiliza para diseñar los argumentos y proposiciones de esta tesis. El clima urbano está directamente relacionado con las condiciones atmosféricas que imperan en las ciudades. Los estudios

de clima urbano se refieren a la capa límite atmosférica, una región de grandes turbulencias y cambios atmosféricos influidos por el efecto de la rugosidad urbana.

La metodología más utilizada para el análisis del clima urbano y de las islas térmicas son los transectos, los datos registrados en estaciones meteorológicas fijas y móviles y las imágenes térmicas, que son actualmente las más utilizadas para determinar la influencia de los materiales urbanos en la formación de la isla de calor y como elemento clave en las medidas de mitigación de los impactos del cambio climático

Los estudios existentes en la literatura internacional muestran claramente la incidencia de islas térmicas en las ciudades. Las islas de calor en las ciudades de clima más frío se producen fundamentalmente en el período nocturno, mientras que las islas de calor en las ciudades de climas más calientes son diurnas y nocturnas.

Los impactos negativos de este aumento de la temperatura en las ciudades se manifiestan especialmente por la agudización del estrés térmico al que se ve sometida la población por lo que uno de los aspectos más interesantes de la actual climatología urbana es el análisis del confort térmico en las áreas urbanas y su relación con la isla de calor. En este sentido se han desarrollado numerosos índices, entre los que destaca el denominado *índice de confort térmico universal* (UTCI) desarrollado por la *International Society on Biometeorology* (ISB) en 2009 se desarrolló para evaluar la respuesta fisiológica del hombre a las condiciones térmicas externas. El UTCI comprende los siguientes rangos climáticos: temperatura del aire entre -50°C a 50°C; velocidad del viento entre 0,5 a 30 m/s y humedad relativa del aire entre 5% a 100%. El UTCI se define como la temperatura del aire (T_a) que produciría en condiciones de referencia térmica la misma respuesta como en el ambiente térmico real. Tiene la ventaja de ser un índice universal aplicable a todos los tipos de clima. El UTCI es el índice de evaluación bioclimático utilizado en esta tesis para la ciudad de Natal.

PARTE I - NATAL Y EL PROCESO DE URBANIZACION

CAPÍTULO 3 EL PROCESO DE URBANIZACIÓN DE LA CIUDAD DE NATAL

3.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se describen las principales características de la ciudad de Natal a través de los análisis del marco urbano, morfológico y climático.

En el proceso de análisis del marco urbano fueron utilizados los datos bibliográficos y de los órganos públicos del ayuntamiento de Natal con la finalidad de caracterizar en líneas generales los aspectos urbanos, sociales y económicos de la ciudad. El marco morfológico igualmente utilizó los datos bibliográficos de los órganos públicos del ayuntamiento de Natal y las imágenes de satélite de los años 1984, 1990, 2000 y 2013 para analizar los cambios ocurridos en el área edificada y de vegetación en Natal. En el marco climático se describen las principales condiciones meteorológicas y situaciones sinópticas que actúan en el clima de Natal.

Los resultados permitieron verificar las principales características urbanas de Natal, los cambios ocurridos en las últimas tres décadas y los principales rasgos climáticos regional y local de la ciudad de Natal.

3.2. MARCO URBANO

Las características del crecimiento urbano de una ciudad son fruto de las condiciones económicas, sociales, políticas y tecnológicas predominantes en el tiempo, además su significado no es estático sino cambiante ya que actúan los intereses políticos, económicos y sociales (Zárate, 2003). Las características de la ciudad de Natal, como no puede dejar de ser de otro modo, son fruto de muchos cambios producidos a lo largo de sus 414 años desde fundación.

La ciudad de Natal es la capital del estado del Rio Grande do Norte (RN) ubicada en el Noreste de Brasil en las coordenadas centrales $-5^{\circ}79'(S)$ y $-35^{\circ}2'(O)$. Comprende un área de aproximadamente $167,263 \text{ km}^2$ que está urbanizada en toda su extensión territorial, con población de 853.929 habitantes (estimación de 2013), densidad demográfica de $4.805,24 \text{ hab/km}^2$ y el índice de desarrollo humano (IDH) de Natal es de 0,763, considerado alto (IDHM alto de 0,700 -0,799). Las principales actividades económicas del municipio están divididas entre un 82% servicios, un 17% industria y casi no hay actividad agropecuaria, un 0,2%, y un dato importante es la

cantidad de matriculas de coches: 190.717 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estadística, 2013).

La ciudad de Natal fue fundada por los portugueses el 25 de diciembre de 1599, motivo del que deriva su nombre del día de Navidad. Fue ocupada por los holandeses entre 1630 y 1654 que le dieron el nombre de Nueva Ámsterdam. Natal tuvo un crecimiento modesto hasta mediados del siglo XX.

En el período de la Segunda Guerra Mundial, debido a su estratégica localización, al ser la ciudad de América más cercana al continente africano y a Europa, se produjeron importantes cambios en la ciudad, principalmente con la instalación de una gran base militar de los países aliados que fue la base aérea de Parnamirim, en la zona metropolitana de Natal. Esta base militar estuvo en operación para apoyar a los militares norteamericanos y brasileños durante toda la intervención en Europa (IBGE, 2013). Así, en líneas generales podemos dividir el crecimiento de Natal entre un antes y un después de 1950.

El crecimiento poblacional de Natal después de 1950 se puede ver en la Figura 3.1. El mayor crecimiento poblacional de la ciudad fue en el período entre 1970 a 1991 con un aporte poblacional de aproximadamente 343.000 personas, esto representa un crecimiento su población más que el doble en solamente dos décadas, motivado principalmente por la inmigración rural, urbana interprovincial e interestatal. En el otro período de 1991 hasta 2010 se produce un crecimiento poblacional más pequeño que el período anterior, pero aún muy considerable, con un aporte poblacional en dos décadas de aproximadamente 197.000 habitantes.

Sin embargo, la tasa de crecimiento poblacional (Figura 3.2) revela las tendencias anteriores, donde en las dos décadas (1970-1991) presentó valores muy positivos y muy altos con 0,62 en 1980 y 0,42 en 1991. Pero, en las siguientes décadas los valores de las tasas de crecimiento caen considerablemente, 0,17 en 2000 y 0,13 en 2010. Esto representa una tendencia de desaceleración de la tasa de crecimiento poblacional entre los años 1991 a 2010.

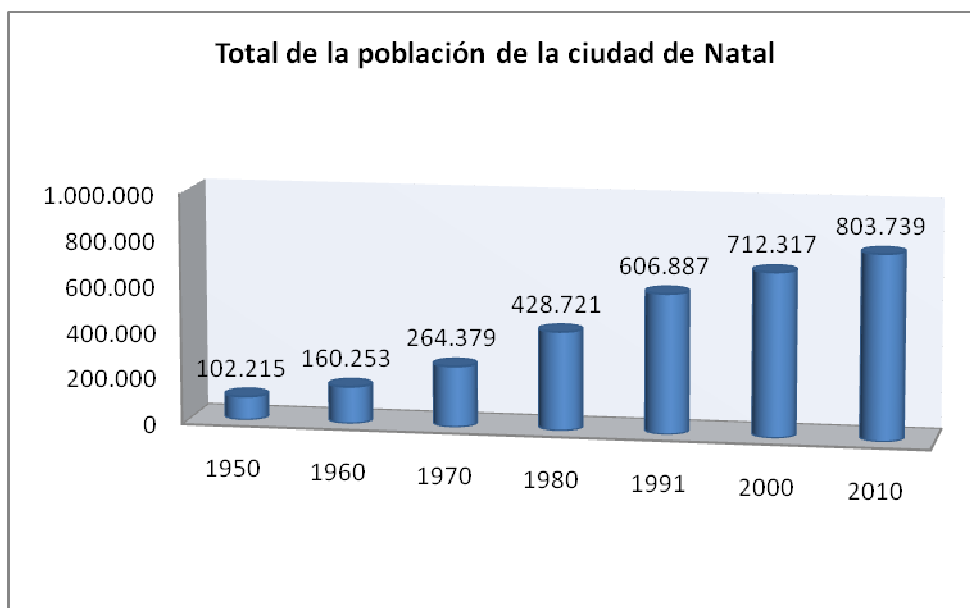


Figura 3.1 - Total de la población de la ciudad de Natal, Brasil. Fuente: Brasil, IBGE, Censo Demográfico 1950-2010

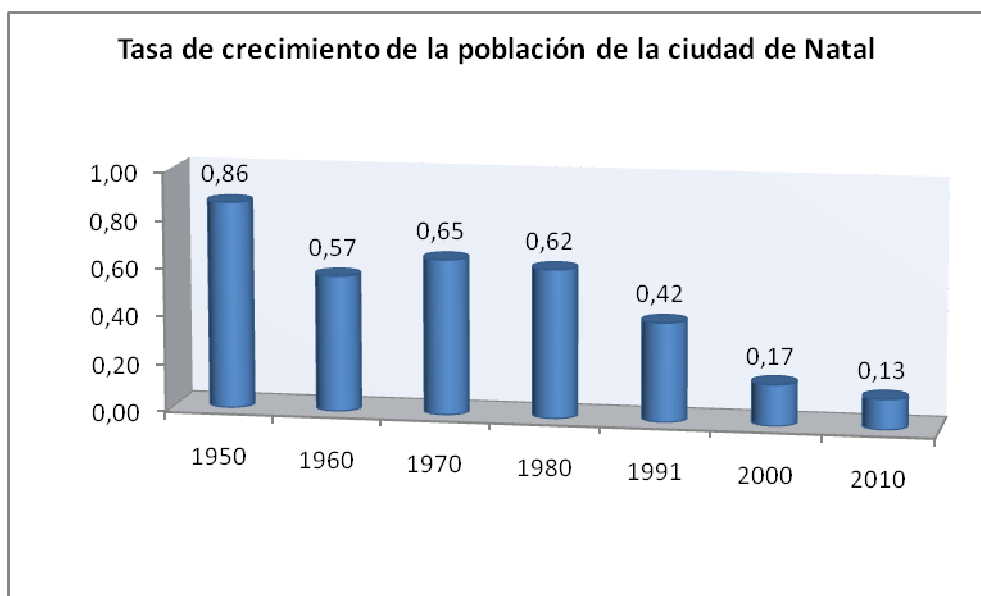


Figura 3.2 - Tasa de crecimiento poblacional de la ciudad de Natal, Brasil. Fuente: Brasil, IBGE, Censo Demográfico 1950-2010

En la Figura 3.3 se presenta otro importante dato que es la relación entre la población de la capital Natal y el estado del Rio Grande do Norte. El fenómeno de la urbanización de la capital se produce en dos períodos de ritmos muy distintos. El primero entre 1950 hasta 1991 que presenta una relación positiva y creciente entre estas

décadas pero los valores son muy constantes aproximadamente entorno de los 3,5 por ciento. El segundo período entre 1991 a 2010 presenta valores prácticamente constantes y esto representa una estabilización en la relación del crecimiento de la ciudad de Natal en relación al total de la población de estado del RN. De hecho, queda claro que esto representa un freno del éxodo rural a la capital del Estado.

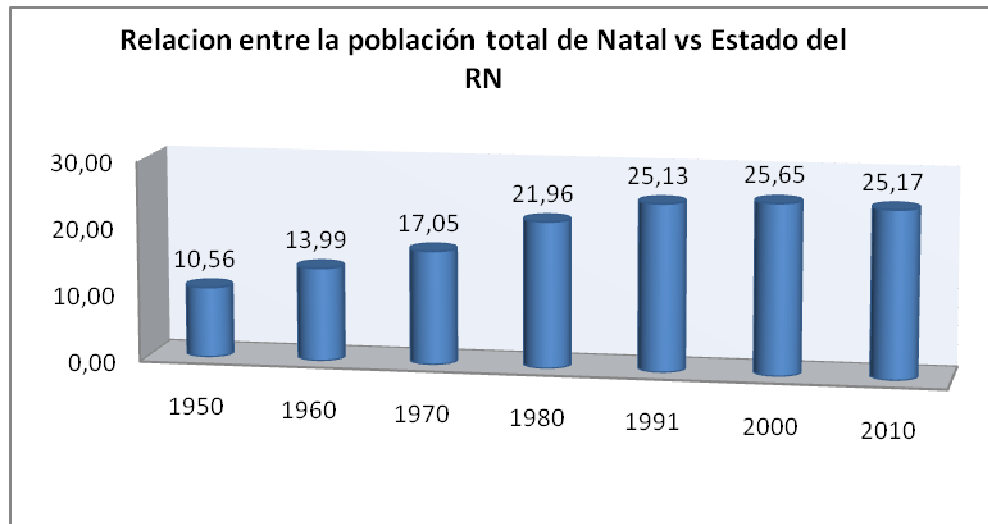


Figura 3.3 - Relación entre la población de total de la ciudad de Natal con la del Estado del Rio Grande do Norte, Brasil. Fuente: Brasil, IBGE, Censo Demográfico 1950-2010

El crecimiento poblacional ocurrido de forma rápida en las últimas décadas el Natal principalmente a partir de los años 1990 viene acarreado daños ambientales a la ciudad. Entre estos, el principal está relacionado con la ocupación desordenada del territorio municipal, con el *boom* inmobiliario de la construcción de predios.

El crecimiento de la ciudad de Natal influye en las ciudades próximas principalmente en los municipios limítrofes de Parnamirim y São Gonçalo del Amarante, lo que dio lugar a la creación de la Región Metropolitana de Natal (RMN) en 1997, también conocida como la Grand Natal. Esta RMN fue establecida por la Ley Complementaria Número 152, de 16 de enero de 1997 y más tarde se amplió con la incorporación de otros municipios y tiene una población estimada de 1.322.985. La RMN está formada por 10 municipios circundantes (Figura 3.4): Parnamirim, Macaiba, Extremos, São Gonzalo do Amarante, Ceara Mirim, Nizia Floresta, São Jose de Mipibu y más recientemente Monte Alegre (IBGE, 2013).

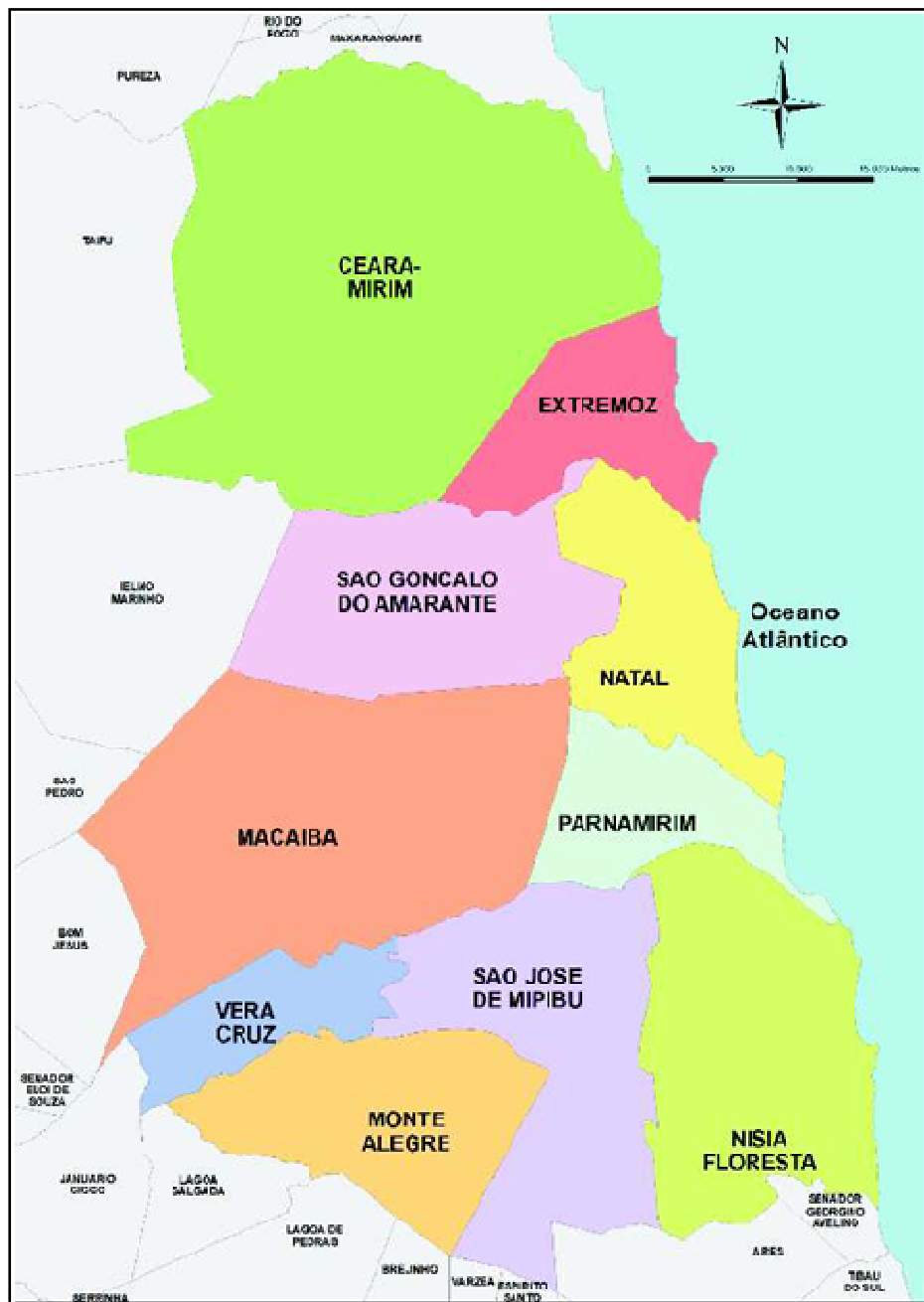


Figura 3.4 - Mapa de la Región Metropolitana de Natal (RMN). Fuente: Prefeitura Municipal de Natal, 2013

3.3. MARCO MORFOLÓGICO

La ciudad de Natal se encuentra cerca del río Potengi, que jugó un papel vital en la fundación de la ciudad como recurso defensivo y más adelante con la instalación del puerto de la ciudad. En principio era un asentamiento sencillo y pequeño que con el paso del tiempo se amplió debido al mencionado y principalmente con el movimiento

inmigratorio. Desde entonces, y sobre todo a partir de la Segunda Guerra Mundial, se transformó en una ciudad de tamaño medio.

La morfología es la forma externa de la ciudad. La morfología urbana de la ciudad hasta finales de la década de 1970 fue básicamente de forma horizontal, principalmente a través de la construcción de grandes urbanizaciones de viviendas públicas, pero después de este período van a producirse las construcciones verticales de edificios (Ademir, 2007).

Natal está dividida en cuatro áreas administrativas o zonas, Norte, Oeste, Este y Sur, (Figura 3.5).

La zona Este de la ciudad de Natal está compuesta por doce barrios que representan en su mayoría el Centro de la ciudad o el casco antiguo, por eso, se denomina en este estudio la zona Este como el Centro de la ciudad de Natal (Figura 3.6).

La zona Norte está formada por siete barrios y se separa de las otras tres zonas por el estuario del río Potengi, la zona Sur está compuesta por siete barrios y la zona Oeste por diez barrios. En total la ciudad de Natal tiene 36 barrios (SEMUR, 2013).

Como anteriormente hemos dicho, la verticalidad de los edificios es un dato que viene a caracterizar una nueva fase en el plano urbano de Natal, pero este no se refleja en las cuatro zonas de la ciudad, solo ocurre en el Centro (zona Este) y zona Sur de la ciudad de Natal. El crecimiento del área territorial de la ciudad de Natal se desarrolla con expansiones principalmente en tres ejes: en la zona Norte de forma horizontal, en la zona Sur de forma horizontal y vertical y en el Este o en los barrios centrales de forma vertical (Figura 3.7).

La urbanización de la ciudad de Natal reflejada en el crecimiento poblacional ha traído problemas a nivel ambiental, como los relacionados con la cuestión climática, que, desgraciadamente aún no son muy relevantes en las principales políticas municipales.

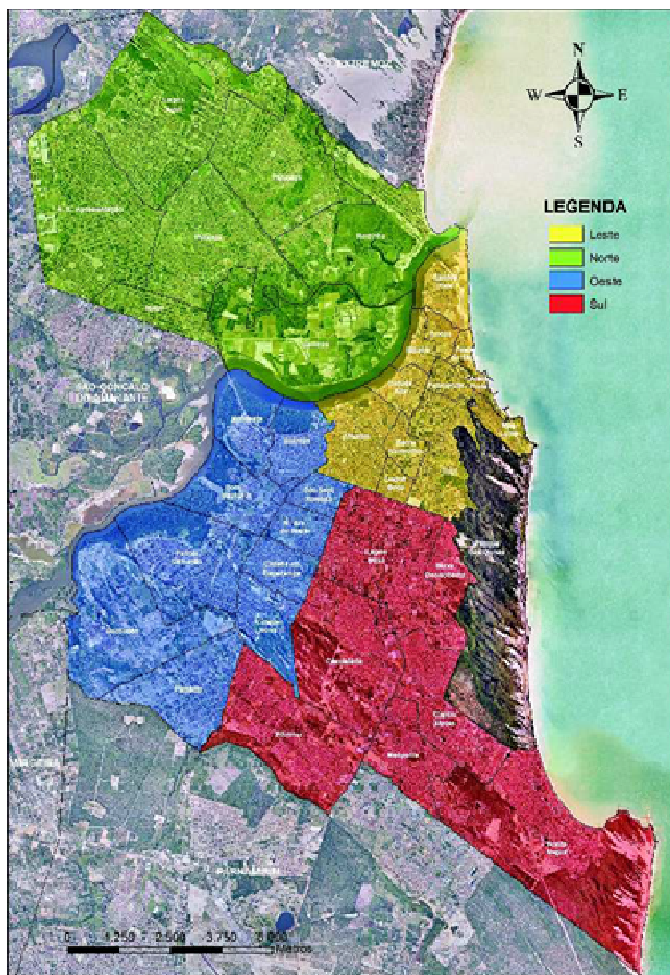


Figura 3.5 - Divisiones administrativas de la ciudad de Natal.
Fuente: Prefeitura Municipal de Natal, 2013

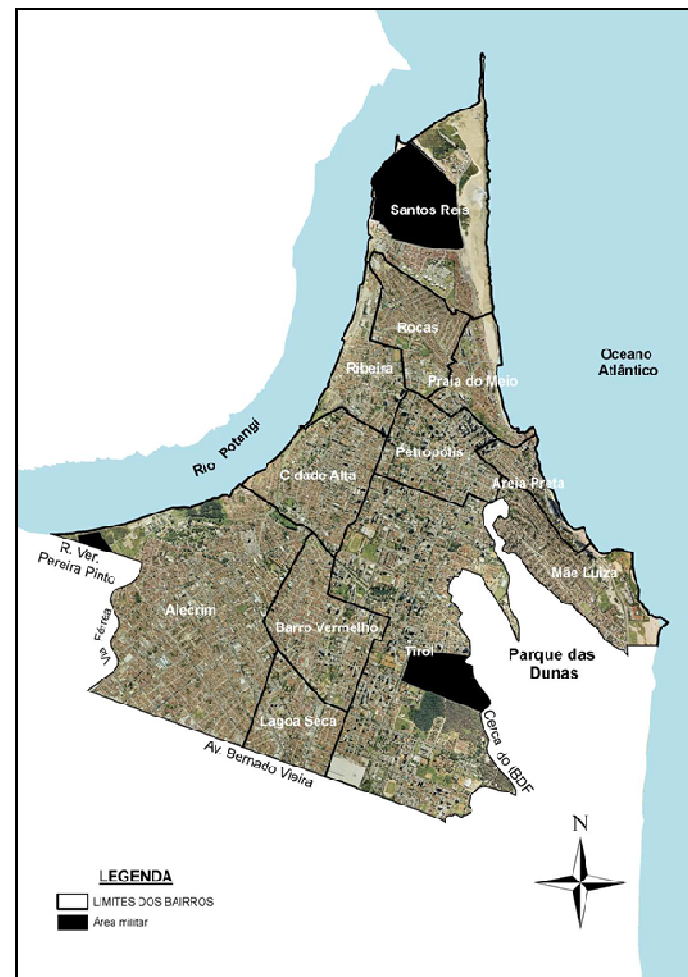


Figura 3.6 - Mapa de la zona Este o el Centro de la Ciudad de Natal.
Fuente: Prefeitura Municipal de Natal, 2013



Figura 3.7 - Skyline del Centro de la ciudad de Natal, Brasil. Fuente: Cortesía del fotoperiodista Canindé Soares, <http://canindesoares.com>

La zona Este o el Centro de la Ciudad está representado en la Figura 3.6, donde de los 12 barrios el de la Ciudad Alta (barrio de mayor altitud) es el Centro de la ciudad, en el que se localiza la principal área comercial de la ciudad, y también la sede municipal de Ayuntamiento de Natal. El Centro fue el primero y es el principal núcleo urbano de la ciudad, por eso parte del Centro conserva sus calles estrechas, sinuosas, con edificios antiguos y contiguos.

El otro barrio emblemático es el barrio de Ribeira, como el nombre indica es de bajo nivel topográfico, por eso ahí está instalado el puerto de la ciudad, dato que ha contribuido para su crecimiento, se puede considerar como el tercer núcleo urbano de la ciudad y tiene un comercio muy importante. Las principales características de la Ribeira son el emplazamiento con calles estrechas y sinuosas, los edificios son antiguos y contiguos típicos de una zona portuaria e histórica.

El del Alecrim es otro importante barrio, con un vigoroso comercio popular, por eso está considerado el segundo núcleo urbano. Está formado por edificios de pocas plantas pero con un entramado de calles y manzanas de plano ortogonal o cuadrícula en calles perpendiculares. En la zona Este o Centro la verticalidad está presente en todos los barrios, pero los edificios más altos y con mayor densidad están presentes principalmente en los barrios de Petropolis y Tirol (Figura 3.7 y Figura 3.8) y son menos habituales en los barrios de clase media y baja respectivamente Santos Reis y Mae Luiza.





Figura 3.10 - Vista panorámica de la zona Sur de la ciudad de Natal, Brasil, en primero plano el barrio de Neopolis, en segundo plano a la izquierda Capim Macio y al fondo a la derecha Ponta Negra, 2013. Fuente: Cortesía del fotoperiodista Canindé Soares

La zona Oeste de la Ciudad comprende diez barrios representados en la Figura 3.11. Son barrios desarrollados a partir de la década de 1960 y 1970 y otros barrios de desarrollo aún más reciente. El barrio de Cidade da Esperança fue formado con la construcción de grandes urbanizaciones de viviendas públicas y también está instalada la estación de autobuses de Natal. En general, la morfología de los barrios es lineal y algo menos ordenada, las calles se cortan perpendicularmente en un plano ortogonal. Son típicos barrios residenciales de clase media y baja. A pesar de estar dedicados en primer lugar a viviendas, hay presencia de áreas comerciales e industriales. Es la única zona de la ciudad en la que no se verifica la especulación inmobiliaria para la construcción de urbanizaciones de edificios más altos. Los barrios de Felipe Camarão, Cidade Nova, Planalto y Guarapes, en este orden, son los barrios de más reciente crecimiento urbano de la ciudad.



Figura 3.11 - Mapa de la zona Oeste de la Ciudad de Natal. Fuente: Prefeitura Municipal de Natal, 2013

La zona Norte de la Ciudad está representada por los siete barrios en la Figura 3.12. Son todos barrios recientes desarrollados a partir de la década de 1970 y 1980 a través de la construcción de grandes urbanizaciones de viviendas públicas. Igualmente, su morfología es bien lineal y ordenada, las calles se cortan perpendicularmente en un plano ortogonal. Son típicos de barrios residenciales de clase media, y a pesar de estar dedicados en primer lugar a viviendas hay presencia de grandes áreas comerciales y un importante polígono industrial de Natal localizado en el barrio de Nossa Senhora da Apresentação (Figura 3.13). En la zona Norte también se verifica la creciente especulación inmobiliaria de la ciudad con la construcción de urbanizaciones y edificios en algunos de los barrios. Está separada de las otras áreas de Natal por el estuario del río Potengi, por eso tiene dos puentes. El primero une el barrio Nordeste (zona Oeste) al barrio de Igapó con la zona Norte. El otro puente, más reciente, hace la unión entre el barrio de Santos Reyes (Centro) y el barrio de Redinha, en la zona Norte.



Figura 3.12 - Mapa de la zona Norte de la Ciudad de Natal. Fuente: Prefeitura Municipal de Natal, 2013



Figura 3.13 - Vista panorámica de la ciudad de Natal, Brasil, en primer plano la zona Norte, al centro el río Potengi y arriba el Centro, 2013. Fuente: Cortesía del fotoperiodista Canindé Soares

3.3.1. Las transformaciones urbanas en Natal a partir del análisis de las imágenes satelitales de 1984 a 2012

El índice de NDVI calculado para el área urbana de Natal permitió analizar los principales cambios de las áreas de vegetación natural y su representación cartográfica fueron en las siguientes fechas: 17 de noviembre de 1984, 10 de mayo de 1990, 2 de septiembre de 2000 y 25 de enero de 2013. De hecho, los cuatro mapas de vegetación o de NDVI fueron para analizar el vigor de las cubiertas vegetales o la pérdida de vegetación en detrimento del crecimiento de la trama urbana de la ciudad.

En la clasificación mediante valores del NDVI es importante señalar que la diferenciación entre en suelo urbano y la cubierta de vegetación a través de las imágenes de Landsat en Natal es complejo debido a varios factores:

- El modelo de ciudad existente en Natal, en su mayoría, está formado de casas bajas rodeadas, frecuentemente, por patios cultivados o sin cultivar. La resolución espacial de Landsat (30 m) hace que en un mismo píxel se recoja una superficie de coberturas mixtas.
- Se está usando un sensor multiespectral, por lo que las diferencias espectrales de estos materiales no quedan recogidas al 100%.
- A menudo los materiales con los que se cubren los tejados de las casas se confunden con el entorno.

Lla se realizó mediante el el Índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI, que varía entre -1 y +1 y que se eha obtenido meiante la siguiente ecuación (Hantson, 2011):

$$NDVI=(NIR-RED)/(NIR+RED)$$

Siendo:

NDVI = Normalized Difference Vegetation Index

NIR = Spectral Reflectance Near Infrared

RED = Spectral Reflectance Visible

El objetivo de la clasificación de la cubierta terrestre usando el NDVI fue diferenciar entre superficies vegetales de alta densidad del resto del área urbana. Esto se hizo comparando sucesivas clasificaciones y comparando los resultados con la visualización en falso color de la imagen Landsat correspondiente, hasta aproximarse lo mejor posible a sus límites.

La variación de los rangos de clasificación se debe a que las imágenes corresponden a diferentes años y estados fenológicos, por lo que un mismo píxel cubierto de vegetación frondosa, tendrá diferentes valores de NDVI según las condiciones climáticas o del tiempo previo. Así, el umbral crítico para las cubiertas de vegetales un valor de NDVI en torno de 0,1 y para la vegetación densa más de 0,5 (Chuvieco, 2002).

1984-Cobertura de vegetación vigorosa: 0,6 a 1

1990-Cobertura de vegetación vigorosa: 0,7 a 1

2000-Cobertura de vegetación vigorosa: 0,6 a 1

2013-Cobertura de vegetación vigorosa: 0,55 a 1

Al final fueron generados cuatro mapas con el índice de vegetación NDVI del área urbana. A partir de la proporción de cobertura verde se puede determinar los valores de máximo NDVI siendo, la máxima cubierta vegetal en el periodo de pos lluvias y mínimos en el periodo de sequía. Estos mapas del NDVI analizaron los cambios en el área urbana de la ciudad de Natal en las últimas cuatro décadas.

Las características de las masas vegetales de la ciudad de Natal en 1984 están representadas en la Figura 3.16 en la cual se puede verificar el vigor de la cubierta vegetal en este período por toda la ciudad. En especial, se verifica una importante densidad de vegetación en casi toda la zona Norte, como también en partes de la zona Sur y Oeste de la ciudad.

En 1990 (Figura 3.17) una vez eliminada la cubierta nubosa se verifica que el área de vegetación presenta cambios de pérdidas de vegetación en especial en el área del Centro de la ciudad y la zona Sur. En 2000 (Figura 3.18) mismo eliminado la cubierta nubosa se muestra que el área de vegetación sufre cambios muy considerables en toda el área de la ciudad. En especial, las áreas con más pérdida están el Centro, la zona Sur y en la zona Norte. Y en 2013 (Figura 3.19) el índice de NDVI revela el avance de la pérdida de vegetación en las cuatro zonas de la ciudad. Esto muestra que las áreas de vegetación se restringen a las áreas ambientales preservadas del Parque de las Dunas al

Este, al Sur las áreas de Ponta Negra, Lagoinhas y el Parque de la Ciudad en la zona Norte el área la Laguna Azul y la vegetación de manglares en las orillas del río Potengi.

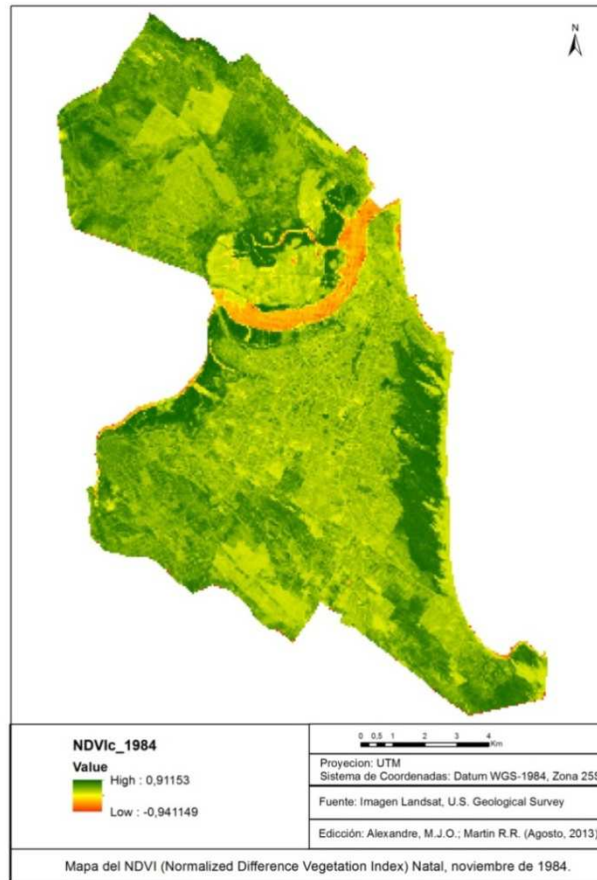


Figura 3.16 - Mapa del NDVI de la ciudad de Natal, Brasil, noviembre de 1984. Fuente: Imagen de Landsat, US Geological Survey

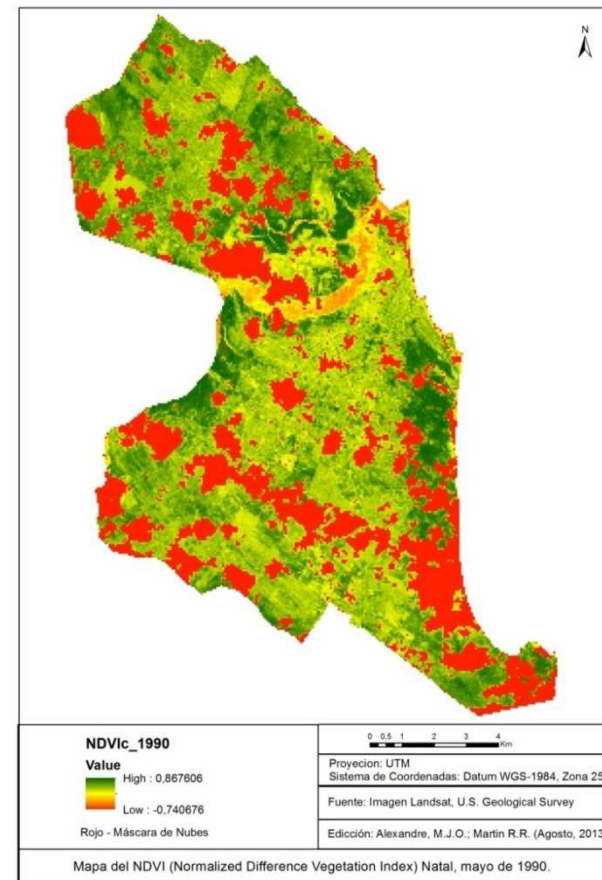


Figura 3.17 - Mapa del NDVI de la ciudad de Natal, Brasil, mayo de 1990. Fuente: Imagen de Landsat, US Geological Survey

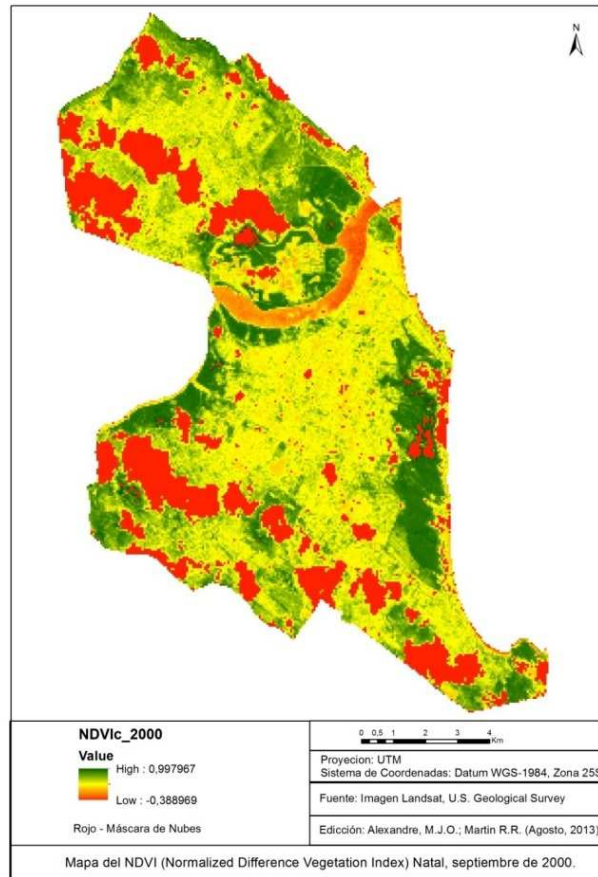


Figura 3.18 - Mapa del NDVI de la ciudad de Natal, Brasil, septiembre de 2000. Fuente: Imagen de Landsat, US Geological Survey

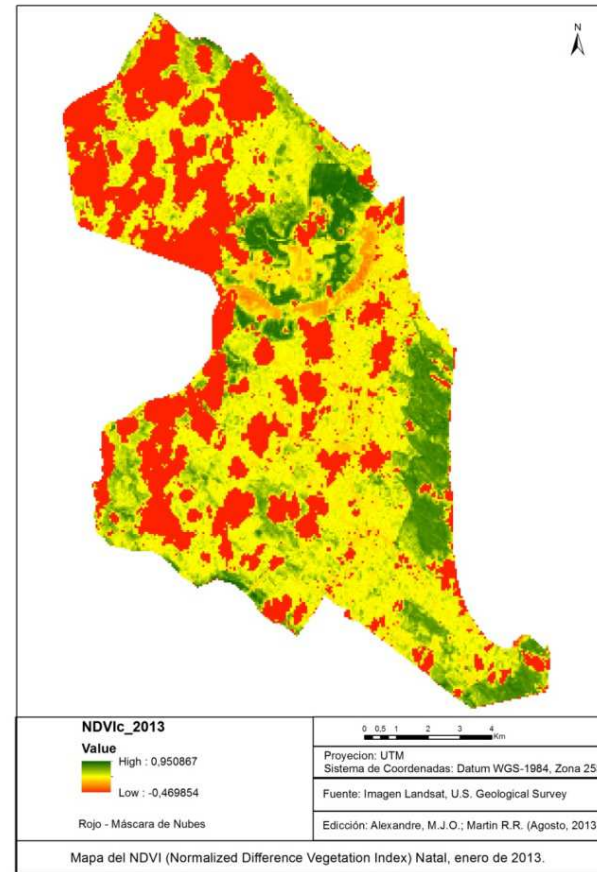


Figura 3.19 - Mapa del NDVI de la ciudad de Natal, Brasil, enero de 2013. Fuente: Imagen de Landsat, US Geological Survey

3.3.2. Evolución de la zona edificada de Natal a partir de las análisis de las imágenes Landsat, de 1984 a 2013

Las imágenes de Landsat se han utilizado para identificar el crecimiento del entramado de la superficie horizontal de la ciudad Natal en las últimas cuatro décadas entre 1984 a 2013. El desarrollo de la zona edificada es un factor determinante para el clima urbano y la formación de islas de calor en la ciudad de Natal. Para este análisis fueron escogidas las imágenes del satélite Landsat de los años de 1984, 1990, 2000 y 2013.

Estas imágenes de satélite fueron sometidas al procesamiento digital con el programa ENVI 4.7 y enseguida con estos datos generados fueron elaborados los mapas del área urbana con el sistema de información geográfica ArcGis desktop 10.

Al final fueron generados cuatro mapas del área urbana. Que ponen de manifiesto el crecimiento urbano de la ciudad en detrimento de la pérdida de vegetación. Un punto importante es la comparación entre los mapas de 1991 con el mapa de 2013, porque ambos se refieren a los dos momentos que fueron tomadas las temperaturas del aire en los transectos y las temperaturas de la superficie el Natal. De estos períodos, fue posible identificar los contrastes térmicos el Natal y la formación de las islas de calor urbanas e islas de frescor urbanas en Natal.

En este contexto, en la Figura 3.20 se muestran en separado las imágenes de Natal para una mejor visualización de los cuatro períodos antes señalados. Las líneas de colores amarillos indican el área ocupada a partir de la imagen de Landsat del período correspondiente especificado. En el año de 1984 se observa que la única área urbana de la ciudad se reducía prácticamente en su totalidad al Centro, las demás zonas Sur, Oeste y Norte estaban en desarrollo. En la imagen del año de 1990 se observa el desarrollo de las zonas Norte y Sur de la ciudad. En el año de 2000, de igual forma se desarrolla en la zona Sur pero con más intensidad en la zona Norte. En la última imagen de 2013, en las zonas Norte, Sur y Este el crecimiento horizontal se encuentra casi consolidado, esto es, la mancha urbana abarca casi la totalidad de sus correspondientes áreas territoriales, queda la zona Oeste como el ultimo frente para dispersar la mancha urbana.

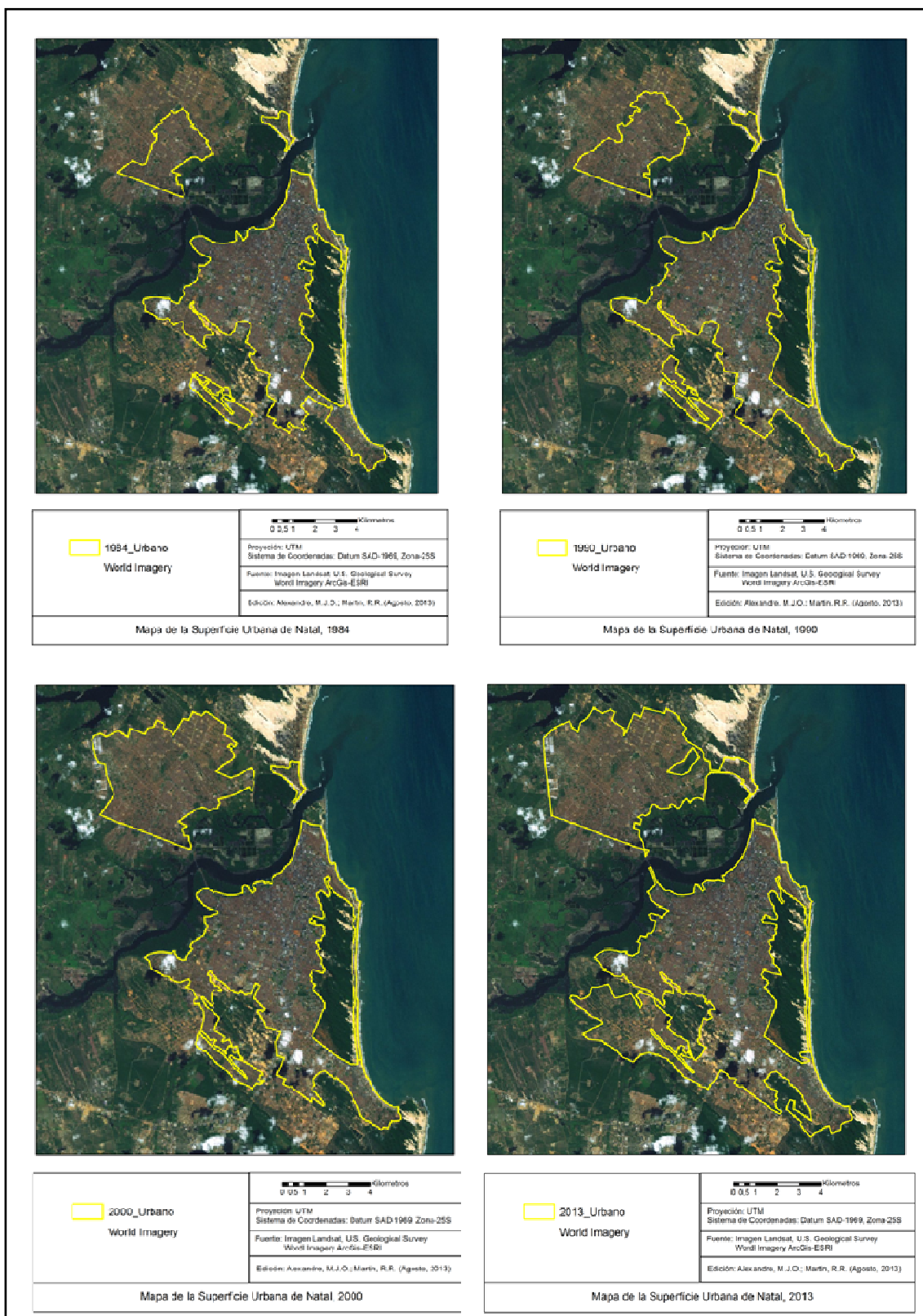


Figura 3.20 - Mapa de la superficie urbana de la ciudad de Natal, Brasil, en color amarillo los diferentes momentos históricos, 1984, 1990, 2000 y 2013. Fuente: Imagen de Landsat, US Geological Survey

En la Figura 3.21 se muestra junta la composición superpuesta en colores de todos los cuatro periodos analizados. Eso permite una mejor visualización espacial de estos cuatro momentos de crecimiento de la área urbana de la ciudad de Natal. El principal destaque es el desarrollo de la zona Norte de la ciudad, donde la mancha urbana se extiende en forma de círculos concéntricos en torno del núcleo originario. La zona Oeste es el frente de desarrollo más reciente y la zona Sur consolida el proceso de conurbación con el municipio limítrofe de Parnamirim.

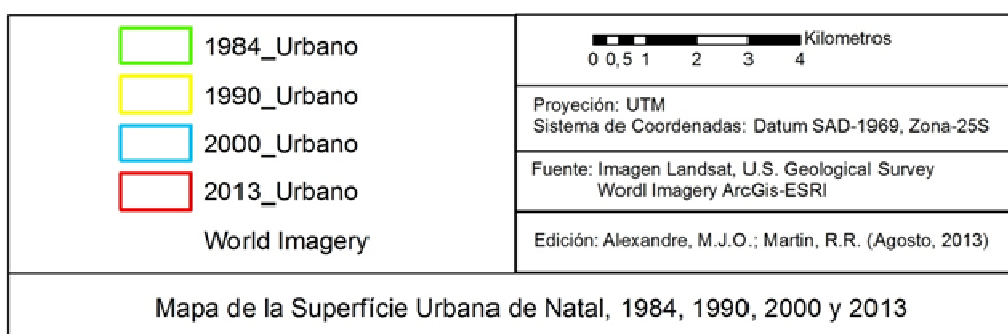
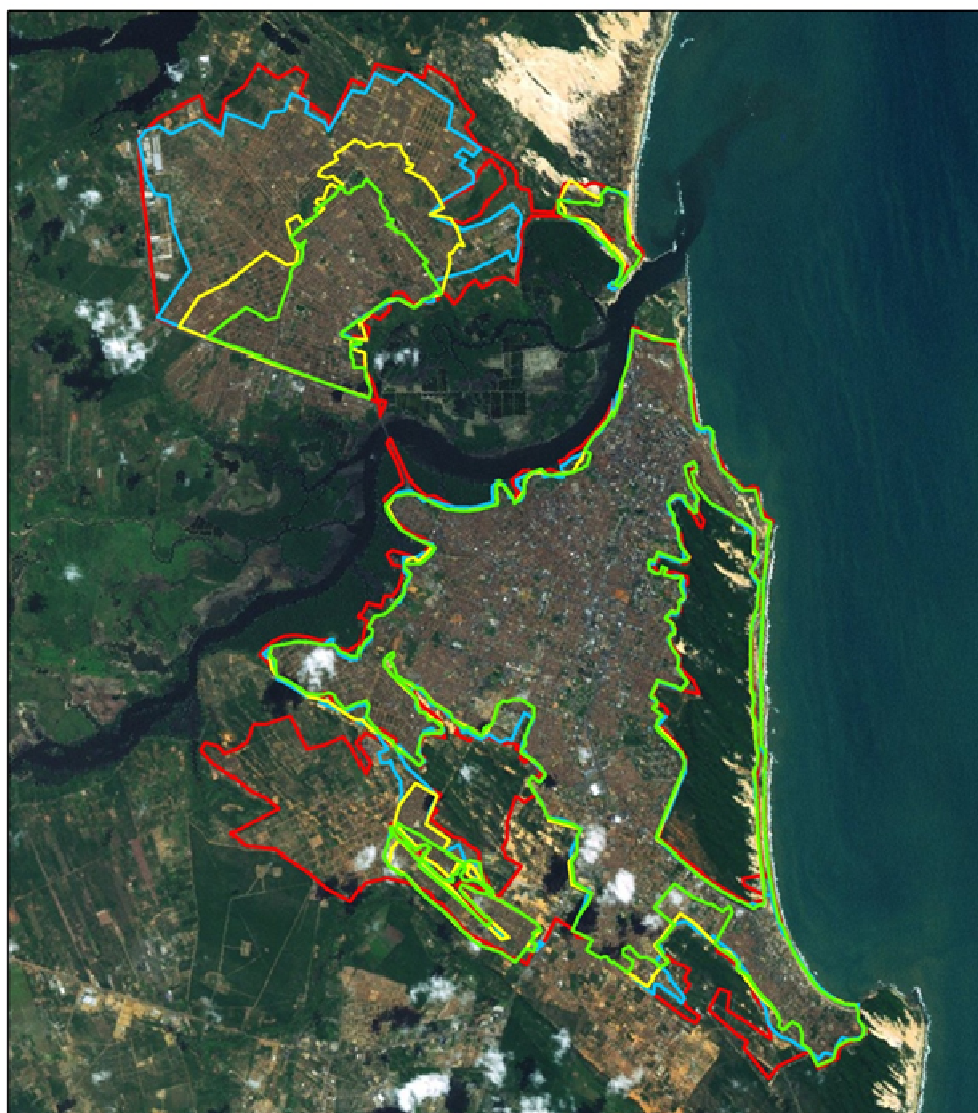


Figura 3.21 - Mapa de la superficie urbana de la ciudad de Natal, Brasil, en colores el conjunto de los diferentes momentos históricos, 1984, 1990, 2000 y 2013. Fuente: Imagen de Landsat, US Geological Survey

3.3.3. Uso del suelo urbano de Natal

El conocimiento del uso del suelo urbano es importante para clarificar y entender la morfología urbana y su influencia en el clima urbano y su variante las islas térmicas. El área edificada de la ciudad de Natal ocupa casi la totalidad de su extensión territorial. Debido a eso, su crecimiento está acarreando daños ambientales principalmente en relación a la ocupación desordenada del suelo municipal y muy a menudo relacionada con el boom inmobiliario de la construcción de edificios y viviendas (Araújo, 2007).

En el mapa de uso del suelo urbano de Natal (Figura 3.20) se observa las tres principales áreas que forman la ciudad: (i) área edificada, áreas industriales y el casco urbano, (ii) áreas verdes de bosques, parques y manguales y (iii) las superficies de agua principalmente el estuario del río Potengi y en algunas lagunas.

De hecho, se hace notar que, entre las tres áreas, la más visible es el área urbana edificada (en gris) que ocupa casi toda el área urbana del municipio, ahora en proceso de conurbación con municipios limítrofes. Otro de los aspectos importantes es el estuario del río Potengi divide la ciudad en dos partes y en sus orillas hay una importante área de vegetación natural de los manglares (en verde oliva). Las otras dos áreas verdes más importantes son el Parque de las Dunas al Este, al Sur las áreas de Ponta Negra, Lagoinhas y el Parque de la Ciudad en la zona Norte el área de la Laguna Azul y la vegetación de manglares en las orillas del río Potengi.

Natal está ubicada en un área costera (Atlántico Sur), la mayor parte de la ciudad está formada por colinas onduladas de suelo arenoso con una altitud media de 33 metros y por las llanuras del estuario del río Potengi con suelo arcilloso y la presencia de la vegetación de manglar. En las áreas naturales preservadas, el relieve está formado por dunas fijas y movibles de arena, la primera recubierta con una vegetación de floresta de restinga y también la presencia de una vegetación de floresta tropical conocida como floresta o mata Atlántica (Nunes, 2009; Soares, 2004; Cestaro, 2002).

La distribución espacial de la ciudad tiene sus propias especificidades de uso del suelo urbano (Figura 3.22). La zona Este destaca por el Casco Urbano, que es el principal núcleo urbano de la ciudad y comprende los dos barrios centrales que son el barrio de Cidade Alta y Ribeira. El barrio de Cidade Alta fue el primer núcleo urbano de la ciudad fundada en una colina en el siglo XVII y enseguida el barrio de Ribeira localizado en un terreno llano, por eso tiene como su principal referencia al puerto de Natal. Ambas zonas tienen características

históricas similares como calles estrechas y sinuosas, edificios tradicionales conjugados y de fachadas antiguas datadas en los siglos XVIII y XIX (Natal, SEMURB, 2008). El segundo núcleo urbano de la ciudad es el barrio de Alecrim fundado en 1929. Al contrario de los dos primeros, fue delineado por el arquitecto italiano Giacomo Palumbo a petición del alcalde Omar Grand O'Grady (1924 a 1930) como parte del Plan de Sistematización de Natal, hasta ahora el único plan general para modernizar la ciudad. La principal característica de este barrio son las manzanas bien alineadas, edificios comerciales conjugados, viviendas unifamiliares y plurifamiliares e intenso comercio popular y especializado.

La zona Norte tiene como principal característica el uso del suelo sus siete barrios formados por urbanizaciones públicas, conjuntos residenciales construidos a partir de la década de 1970 y formados por una población de clase media y baja. Por eso, en general están formados por manzanas de viviendas unifamiliares. Además es la zona más poblada de la ciudad donde se mezclan viviendas unifamiliares, áreas comerciales y un polígono industrial dentro de la ciudad de Natal. La zona Sur también tiene siete barrios formados por urbanizaciones públicas, conjuntos residenciales construidos a partir de la década de 1970, son barrios de clase media y alta. Formado por manzanas de viviendas unifamiliares, con grandes centros comerciales y entre las principales características del uso del suelo es la verticalidad con la construcción de edificios de más de cinco plantas. La zona Oeste es la última frontera de desarrollo del suelo urbano de la ciudad, formada por diez barrios, de clase media baja y son los menos favorecidos por las gestiones públicas municipales. Formado por viviendas unifamiliares aisladas con jardines y áreas comerciales muy restringidas.

La ciudad de Natal presenta diez áreas verdes o de preservación medioambiental protegidas por leyes municipales y estatales (Figura 3.23). El Parque de las Dunas de Natal ZPA-02 es la más grande unidad de conservación del medio ambiente de la ciudad con 11.720 km² de Mata Atlántica natural, de gran importancia ambiental, social y de recreo, además muy importante para los acuíferos y para el microclima local. También funciona como una especie de muralla natural del litoral (altitud hasta 100 m) y aún es considerado como el segundo mayor parque urbano de Brasil (Da Hora, 2013).

El Parque de la Ciudad también protegido por ley es una unidad de conservación municipal, tiene 64 hectáreas de Mata Atlántica natural igualmente de gran importancia ambiental, social y de recreo para la ciudad, como el parque de las Dunas tiene una importancia para los acuíferos y para el microclima (Da Hora, 2013). Las demás zonas de protección ambiental (ZPA) tienen sus debidas importancias ambientales y sociales para la

ciudad de Natal.

Las anteriores características sectoriales del uso del suelo urbano de Natal a su vez generan la preocupación por problemas climáticos urbanos puntuales, dato destacado en este estudio.

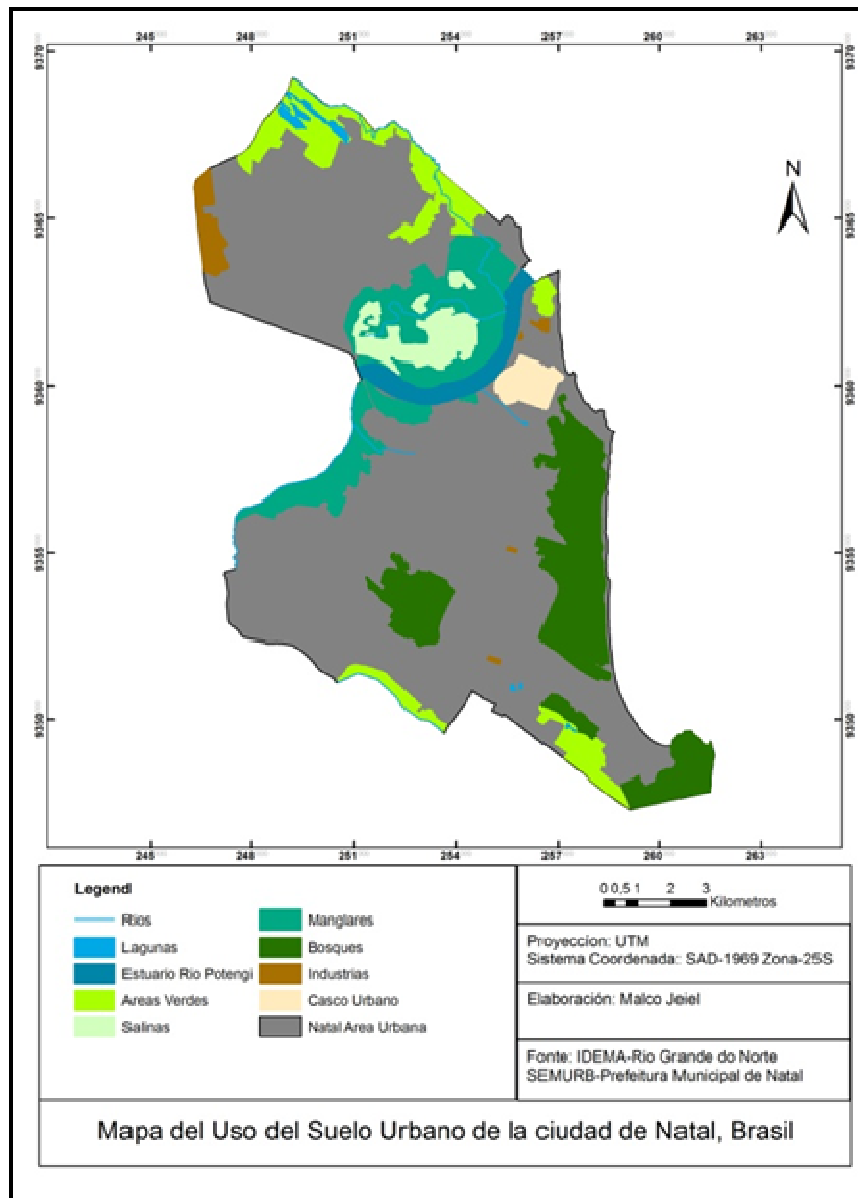


Figura 3.22 - Mapa del uso del suelo urbano de la ciudad de Natal, Brasil. Fuente: IDEMA/RN y SEMURB/Ayuntamiento de Natal



Figura 3.23- Mapa de las zonas de protección ambiental (ZPA) de la ciudad de Natal, Brasil.

Fuente: Prefeitura Municipal de Natal, 2013

3.4. MARCO CLIMÁTICO

3.4.1. Rasgos generales

La ciudad de Natal está ubicada al Noreste de Brasil en la zona de latitud (5° Sur) donde predominan los climas calientes y húmedos. De manera resumida se ha obtenido la clasificación climática de la zona de estudio en los distintos modelos climáticos empíricos de Köppen, Miller, Thornthwaite y Strahler y la clasificación del IBGE adoptada en esta tesis.

De acuerdo con la clasificación de Köppen es de tipo As esto es, Clima Tropical Lluvioso con estación seca en el verano y de lluvias en el invierno. En la clasificación de Miller es A2m es decir, Clima Caliente Marítimo Tropical del tipo monzón. Y en la clasificación de Thornthwaite de B4sA'b'4 que indica un Clima Húmedo, con variación de humedad de moderada deficiencia en el verano, megatérmica o cálida. En la clasificación de Strahler es de tipo Clima de las Latitudes Bajas (controlados por las masas de aire ecuatorial y tropical) y subdividido en Litoral con los vientos alisios (Ayoade, 2003; Mendonça, 2007).

En esta tesis adoptaremos la clasificación climática del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE) dado que es la más detallada en la conjunción de los aspectos físicos, dinámicos y atmosféricos y en gran parte debido a su considerable extensión territorial el “continente Brasil” tiene una gran variedad de tipos de climas (Mendonça, 2007).

El IBGE clasifica los climas zonales o genéricos de Brasil en tres grandes grupos Tropical, Ecuatorial y Templado (Figura 3.24). En tipo térmicos el clima del país se subdivide en Caliente, Subcaliente, Mesotérmico Suave y Mesotérmico Mediano. La clasificación relacionada con la división regional de la humedad en Súper Húmedo, Húmedo, Semihúmedo y Semiárido (NIMER, Edmond, 1979).

Así de acuerdo con la clasificación del IBGE la ciudad de Natal queda incluida en el tipo de clima zonal como Clima Tropical Nordeste Oriental, en subtipo térmico como de tipo Caliente donde la temperatura media en todos los meses del año es mayor que 18°C y en con relación a la subdivisión de humedad en tipo Semihúmedo de 4 a 5 meses secos.

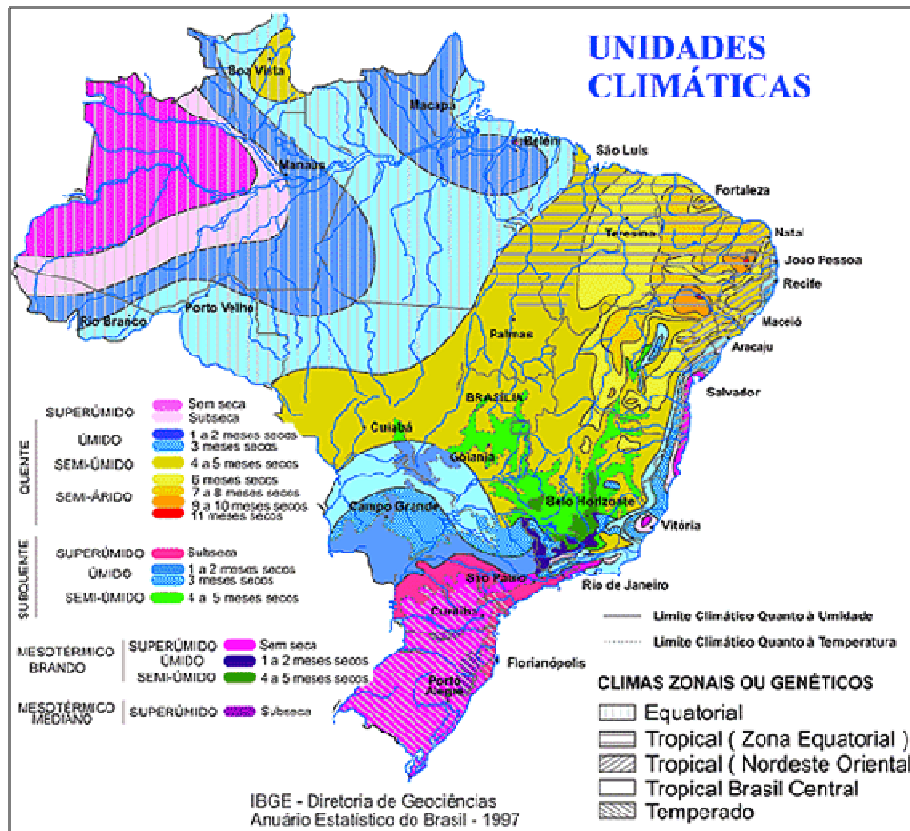


Figura 3.24 - Mapa de las unidades climáticas de Brasil. Fuente: IBGE 1997

3.4.2. Sistemas sinópticos

Las situaciones sinópticas más frecuentes que afectan el clima de la ciudad de Natal están a menudo muy asociadas, al desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), de los Sistemas Frontales y de los vientos alisios de sureste procedentes del océano Atlántico Sur. La actuación de estos sistemas atmosféricos de gran magnitud tiene repercusión muy importante en la climatología local principalmente en relación a las precipitaciones (Baldicero Molion; Oliveira Bernardo, 2002).

La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), que es una formación latitudinal de nubes debido a los vientos alisios de Noreste y Sureste en la región del Ecuador terrestre, con variación aproximada de 14°N hasta 5°S. La ZCIT afecta directamente a las precipitaciones en el sector Noreste Oriental de la región Noreste de Brasil donde se encuentra Natal.

Los sistemas frontales actúan principalmente entre mayo y agosto entre las latitudes de 5°S a 18°S y son responsables por intensas precipitaciones en la franja Oriental del estado del Rio Grande do Norte, donde se encuentra Natal (Araujo, 2010).

Otro fenómeno de gran influencia en el clima regional es El Niño Oscilación del Sur (ENOS) que tiene como principal característica el calentamiento anormal de las aguas del Océano Pacífico Sur. Una de las principales influencias del El Niño en el Noreste de Brasil son las sequías de diferentes intensidades y su opuesto es La niña o el Anti El Niño que trae las condiciones normales de precipitaciones para la región (Mendonça, 2007).

Las situaciones sinópticas típicas de invierno están en la Figura 3.25. El Anticiclón Subtropical del Atlántico Sur (ASAS) o Anticiclón de Santa Helena, con centro de alta presión en torno de 30°S del Atlántico Sur influye en el clima de gran parte de Brasil, favoreciendo el transporte de humedad desde el océano a la costa. Este sistema afecta el Noreste de Brasil, actúa con tiempo perturbado a través de la circulación de los vientos del Este/Sureste que añaden humedad desde el océano formando precipitaciones variadas o significativas en la costa oriental del Estado del RN donde se localiza la ciudad de Natal. En relación a la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) oscila alrededor de 6°N a 10°N en el Atlántico, tiene una influencia reducida o poca influencia en la región. (CPTEC/INPE, 2013).

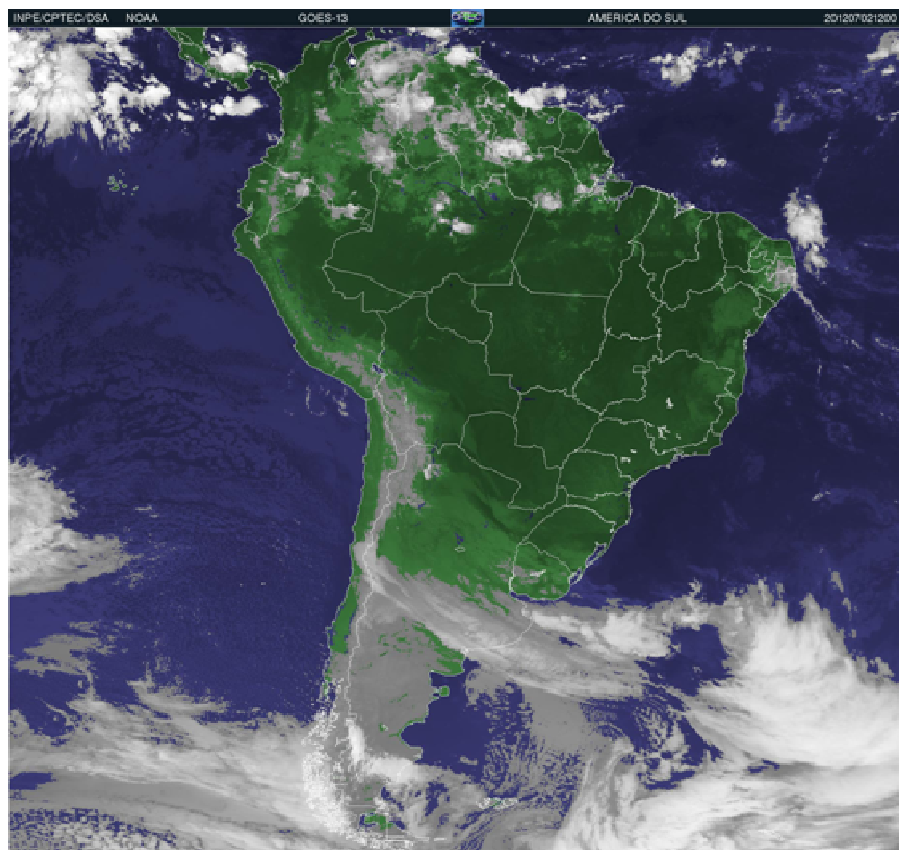


Figura 3.25 - Mapa de la América del Sur con la imagen del satélite GOES en el mes de julio período de invierno. Fuente: CPTEC, INPE, 2013

Las situaciones sinópticas típicas de primavera están en la Figura 3.26. El Anticiclón

Subtropical del Atlántico Sur (ASAS), influye en el clima de gran parte de Brasil, contribuye con advección del aire marítimo sobre la costa Este de Brasil a través de los vientos de Este/Sureste pero con baja probabilidad de lluvia. En el Noreste de Brasil la actuación es muy reducida configurándose como el período de sequía en la región donde se encuentra la ciudad de Natal (CPTEC/INPE, 2013).

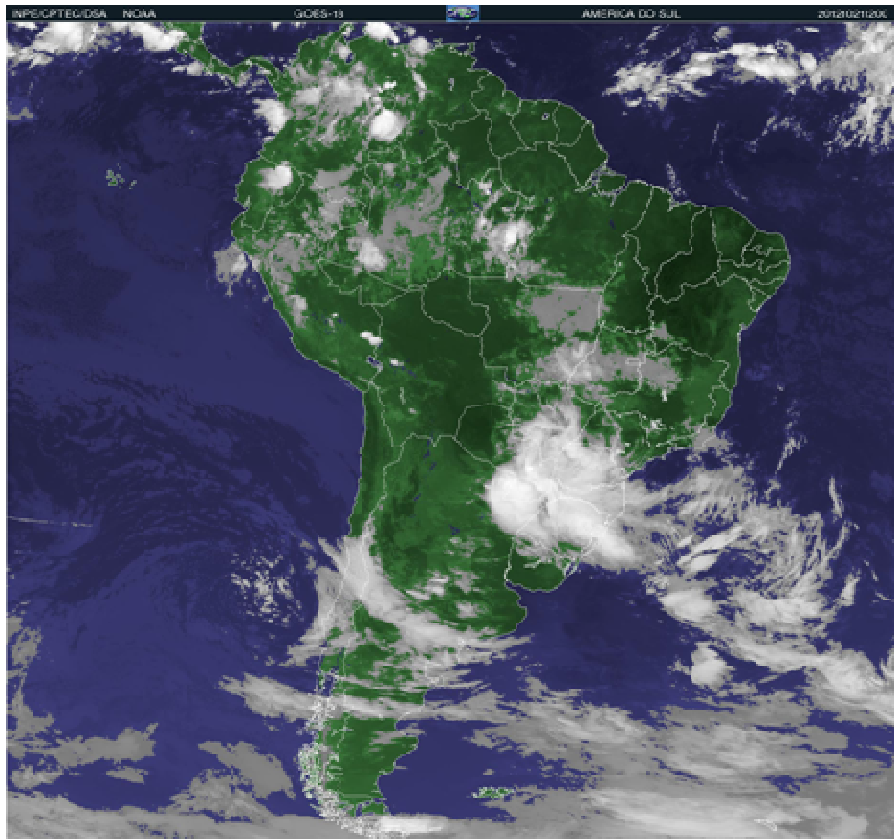


Figura 3.26 - Mapa de la América del Sur con la imagen del satélite GOES en el mes de octubre período de primavera. Fuente: CPTEC, INPE, 2013

Las situaciones sinópticas típicas de verano están en la Figura 3.27. La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) oscila en el Ecuador alrededor de 3°N a 4°S en el Atlántico, tiene una influencia muy determinante en la región septentrional de Brasil asociada al tiempo perturbado con muchas e intensas precipitaciones en estos sectores. En el Noreste de Brasil el hecho sinóptico principal son los vientos de Noreste los que predominan con flujo medio y esta condición provoca tiempo más seco con pocas nubes y cielos despejados en el sector de la costa Este del Nordeste de Brasil (en la región de Natal). Otro hecho sinóptico es el Vórtice Ciclónico de Altos Niveles (VCAN) que actúa sobre el Noreste brasileño en proceso de subsidencia de zonas de alta presión con pocas nubes y cielos despejados

(CPTEC/INPE, 2013).

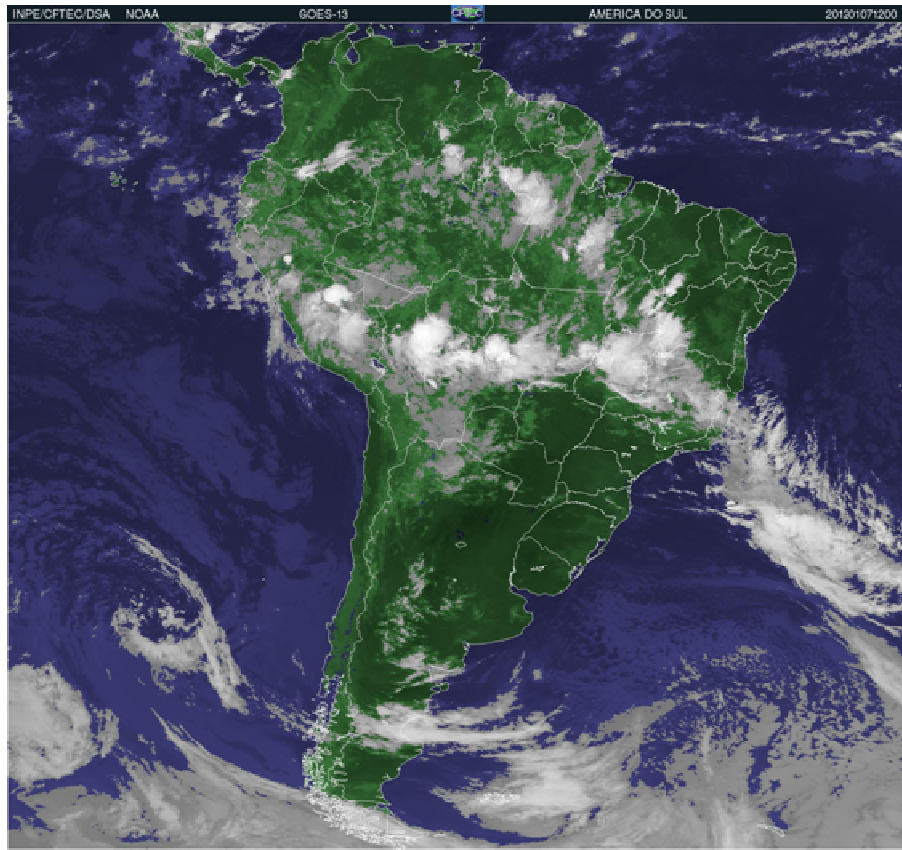


Figura 3.27 - Mapa de la América del Sur con la imagen del satélite GOES en el mes de enero período de verano. Fuente: CPTEC, INPE, 2013

Las situaciones sinópticas típicas de otoño está en la Figura 3.28. La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) está posicionada por encima del Ecuador alrededor de 2°N a 5°N en el Atlántico y tiene su influencia disminuida en la región Noreste de Brasil. El hecho sinóptico principal es la actuación del Anticiclón Subtropical del Atlántico Sur (ASAS) con los vientos de Este que añaden humedad del océano para el continente y favorece la formación de nubes en el caso el sector este del país (CPTEC/INPE, 2013).

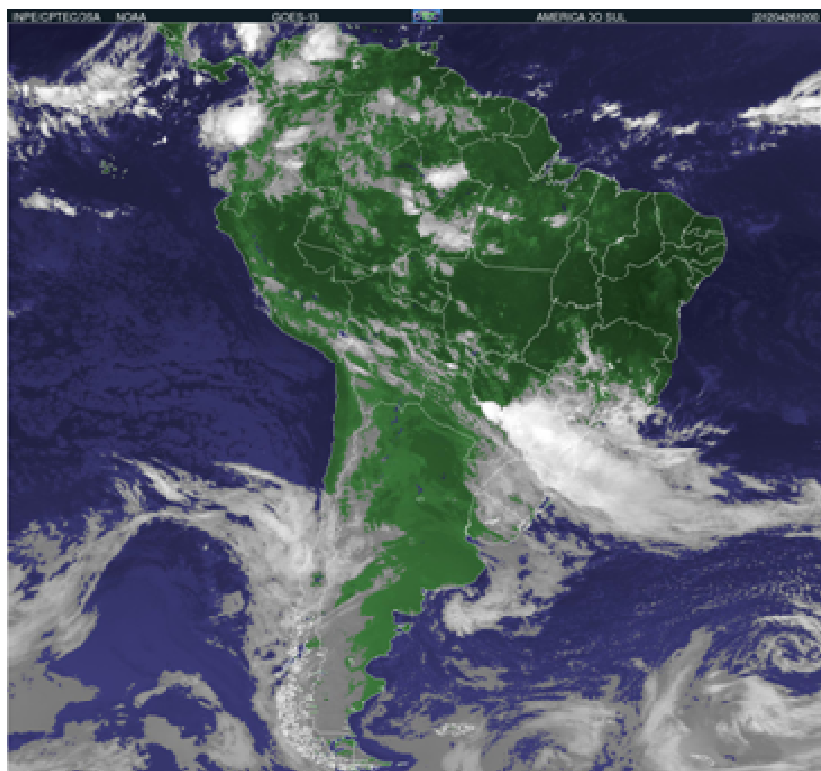


Figura 3.28 - Mapa de la América del Sur con la imagen del satélite GOES en el mes de abril período de otoño. Fuente: CPTEC, INPE, 2013

3.4.3. Elementos del clima Local

La ciudad de Natal presenta dos estaciones distintas, el período de las lluvias o el período de otoño e invierno (abril, mayo, junio y julio) y el período de sequía o primavera y verano (octubre, noviembre, diciembre y enero). Así, el tipo de condiciones climáticas dominante en la ciudad de Natal es tropical caliente húmedo con los veranos secos y el invierno húmedo, incluyendo toda la extensión de la costa Este del estado del Estado del Rio Grande do Norte. Debido a sus características tropicales las estaciones climáticas en Natal están condicionadas por las lluvias (Ayoade, 2003).

En la ciudad de Natal las temperaturas máximas oscilan entre 27,7°C a 30,5°C y las mínimas entre 20,7°C a 24°C (Figura 3.29). El régimen pluviométrico presenta un total anual de 1.617,4 mm/año, más del 70% se concentran en el otoño e invierno. La ciudad de Natal tiene una regular distribución de lluvias con máximos en el otoño e invierno y mínimos en primavera y verano con un promedio de 1617,4 mm/año (Figura 3.30). Así, el final del otoño y el invierno es la estación de las lluvias donde hay un superávit de 1.040 mm de agua que se distribuye entre febrero y agosto, con una humedad relativa promedio de 77% y

temperatura anual con un promedio de 26,6°C (RN, SEPLAN, IDEMA, 2010, p.25).

La temperatura media de la ciudad de Natal es de 26,1°C. Además, los promedios de las temperaturas máximas y mínimas son de 29,3°C y 22,8°C respectivamente. Las temperaturas extremas registradas en estas Normales son la máxima temperatura absoluta 39,3°C en 28 de abril de 1965 y la mínima absoluta de 14,6°C en 18 de agosto de 1965 (INMET, Normales Climatológicas 1961-1990).

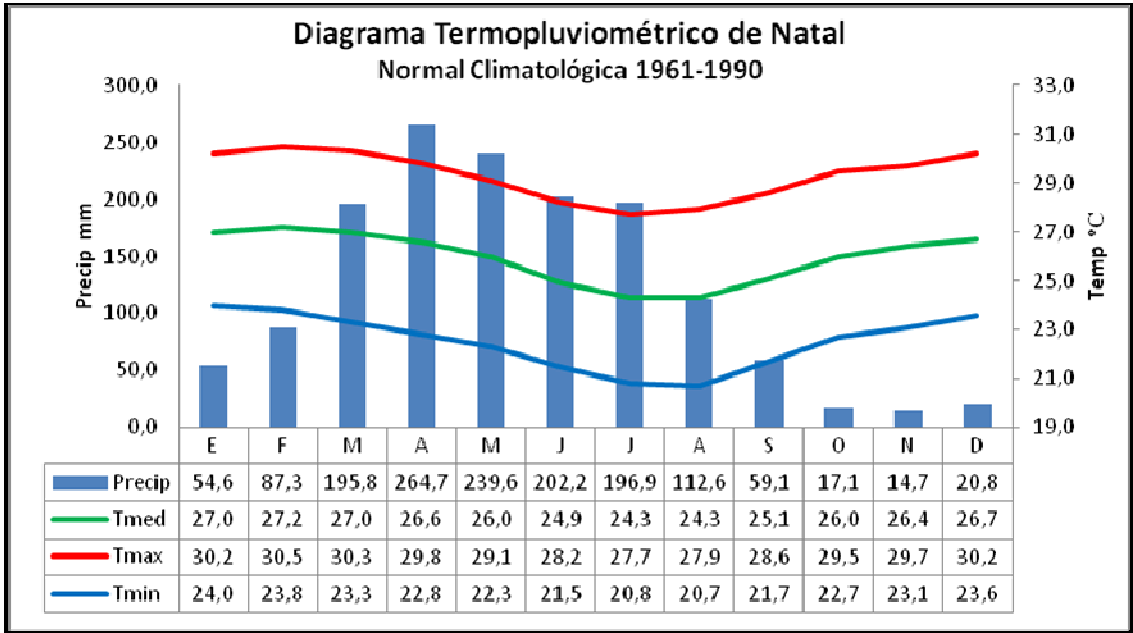


Figura 3.29 - Diagrama Termopluviométrico de Natal. Fuente: Normales Climatológicas 1961-1990, INMET

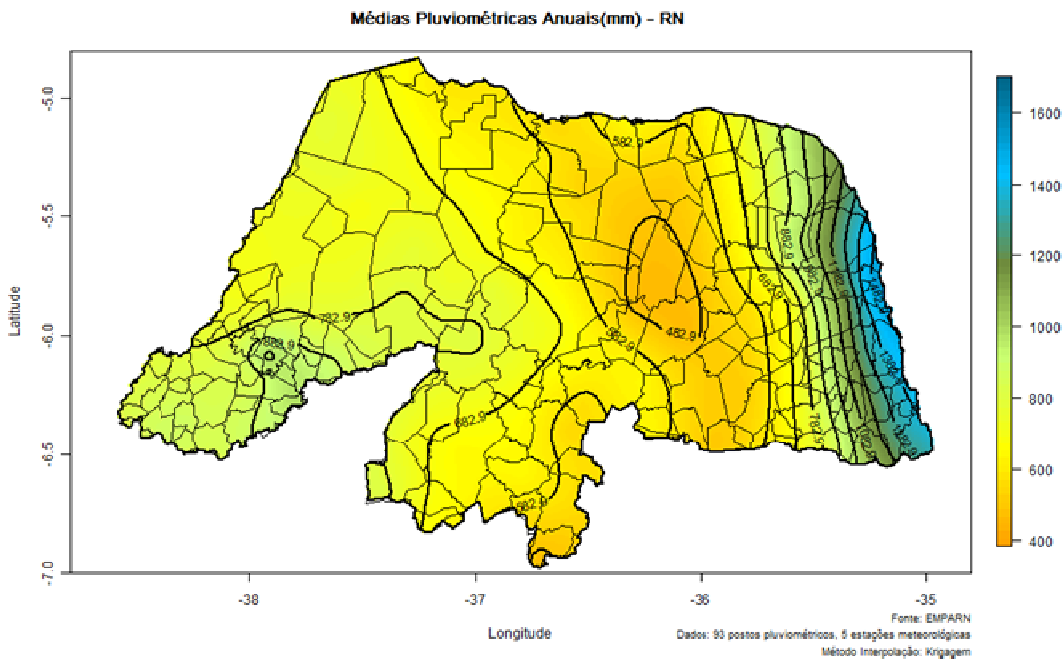


Figura 3.30 - Mapa de la pluviometría del Estado del Rio Grande do Norte, promedio anual.
Fuente: EMPARN, 2013

El régimen de vientos predominantes para la ciudad está representado en la Figura 3.31 y se observa que en más del 90% de los casos para todo el año la dirección predominante es de SE-S Sureste-Sur. La velocidad media del viento oscila en un rango entre 3,6m/s y 5,7m/s clasificado entre vientos flojos a moderados en la escala Beaufort. La ciudad presenta una regularidad anual de los vientos con un promedio de velocidad de 4,4m/s. Estos vientos regulares y constantes ayudan a mantener un clima agradable y fresco en la ciudad.

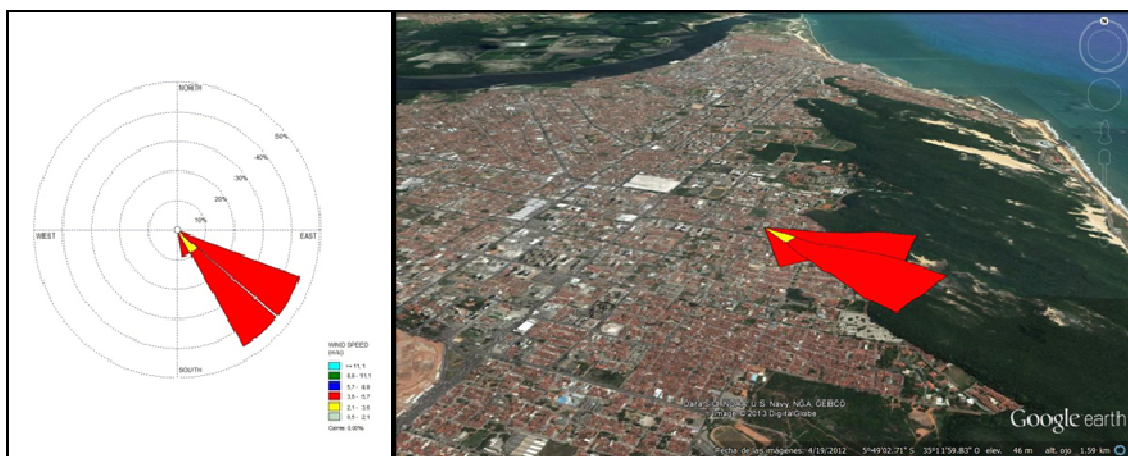


Figura 3.31 - Dirección predominante de los vientos el Natal. Fuente: Normales Climatológicas 1961-1990, INMET

3.5. CONCLUSIÓN

La ciudad de Natal tiene una población de 853.929 habitantes (estimación de 2013) y su crecimiento ha ocurrido de forma rápida en las últimas décadas, principalmente a partir de los años 1990, algo que viene acarreado daños ambientales a la ciudad. Entre estos daños, el principal está relacionado con la ocupación desordenada del territorio municipal, muy a menudo por el *boom* inmobiliario de la construcción de predios.

La morfología de la ciudad hasta finales de la década de 1970 fue básicamente de forma horizontal, caracterizado por la construcción de grandes urbanizaciones de viviendas públicas, pero después de este período se produjo el fenómeno de la verticalidad muy concentrada en el Centro (zona Este) y en la zona Sur, aún muy insignificante en la zona Norte e inexistente en la zona Oeste.

Las imágenes del satélite Landsat de los años de 1984, 1990, 2000 y 2013 fueron utilizadas específicamente para los análisis de los cambios en el área urbana y

vegetación. En el desarrollo de la zona edificada de la ciudad sobresale el sorprendente crecimiento de la zona Norte, la zona Oeste se presenta como el frente de desarrollo más reciente y la zona Sur va consolidando un proceso de conurbación con el municipio limítrofe de Parnamirim. Para la vegetación, fueron utilizados los mapas del NDVI para analizar el vigor de las cubiertas vegetales o la pérdida de vegetación y se ha verificado una pérdida considerable de vegetación entre 1984 y 2013 entre las cuatro zonas de la ciudad. Las áreas de vegetación preservadas se restringen a las Zonas de Protección Ambiental (ZPA), al Este el Parque de las Dunas, al Sur las áreas de Ponta Negra, Lagoinhas y el Parque de la Ciudad, al Norte el área de vegetación de la Laguna Azul y la vegetación de manglares en las orillas del río Potengi.

La dinámica atmosférica de los principales Sistemas Sinópticos que actúan en el Noreste de Brasil y en consecuencia en la región de la ciudad de Natal teniendo en cuenta las diferentes intensidades temporales y espaciales y su influencia en las precipitaciones son la Masa Tropical Marítima (mTa) procedente de actuación del Anticiclón Subtropical del Atlántico Sur (ASAS), la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), las Olas de Este (EW), las Líneas de Inestabilidad Tropical (LI o IT), el Vórtice Ciclónico de Aire Superior (VCAS), los Complejos Convectivos de Mesoescala (CCM), los Frentes Frías (KF) y El Niño Oscilación del Sur (ENOS).

Las imágenes del satélite Landsat de los años de 1984, 1990, 2000 y 2013 fueron utilizadas específicamente para los análisis de los cambios en el área urbana y su vegetación. En el desarrollo de la zona edificada de la ciudad sobresale el sorprendente crecimiento de la zona Norte, la zona Oeste se presenta como el frente de desarrollo más reciente y la zona Sur va consolidando un proceso de conurbación con el municipio limítrofe de Parnamirim.

Los mapas del NDVI de los años de 1984, 1990, 2000 y 2013 del área urbana de Natal se utilizaron para analizar el vigor de las cubiertas vegetales o la pérdida de vegetación en detrimento de crecimiento de la trama urbana de la ciudad. Se verifica una pérdida considerable de vegetación entre 1984 y 2013 entre las cuatro zonas de la ciudad. Las áreas de vegetación preservadas se restringen a las Zonas de Protección Ambiental (ZPA), al Este el Parque de las Dunas, al Sur las áreas de Ponta Negra, Lagoinhas y el Parque de la Ciudad, al Norte el área de vegetación de la Laguna Azul y la vegetación de manglares en las orillas del río Potengi.

La dinámica atmosférica de los principales Sistemas Sinópticos que actúan en el Noreste de Brasil y en consecuencia en la región de la ciudad de Natal teniendo en cuenta las

diferentes intensidades temporales y espaciales y su influencia en las precipitaciones son la Masa Tropical Marítima (mTa) procedente de actuación del Anticiclón Subtropical del Atlántico Sur (ASAS), la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), las Olas de Este (EW), las Líneas de Inestabilidad Tropical (LI o IT), el Vórtice Ciclónico de Aire Superior (VCAS), los Complejos Convectivos de Mesoescala (CCM), las Frentes Frías (KF) y El Niño Oscilación del Sur (ENOS).

PARTE II - LA ISLA DE CALOR URBANA

CAPÍTULO 4. CARACTERÍSTICAS Y EVOLUCIÓN DE LAS ISLAS DE CALOR URBANAS DE NATAL DEL PERIODO DE 1995-2010

4.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene como objetivo el análisis de la isla de calor urbana de Natal a través del estudio de las series largas correspondientes al período de 1995 a 2010. Los datos utilizados fueron las temperaturas máximas y mínimas de dos observatorios localizados en lugares distintos, el urbano la Estación Meteorológica de Natal y la del Aeropuerto Internacional Augusto Severo ubicado en el municipio vecino de Parnamirim.

La caracterización se ha evaluado la intensidad, la frecuencia y las variaciones temporales de las islas de calor. Primero las análisis de las temperaturas máximas y mínimas de las series largas de Natal y del observatorio periurbano del aeropuerto. Después la caracterización de la intensidad y frecuencia de las islas de calor anual y mensual y por último las conclusiones.

Así, se permitió hacer el estudio comparativo para diagnosticar las posibles variaciones de las temperaturas que suelen representar la formación de las islas de calor urbanas (ICU) e islas de frescor urbanas (IFU) de la ciudad de Natal.

4.2. METODOLOGÍA

Muchos métodos se utilizan para estudiar el clima urbano y la formación de las islas térmicas, que incluyen los análisis de las series largas de temperaturas, los recorridos de campo, el uso de estaciones meteorológicas automáticas móviles y las imágenes de satélites (Fernández García, 1996).

En este capítulo se utilizan las series largas de dos observatorios meteorológicos convencionales como anteriormente dicho, uno ubicado en Natal (5°55"S, 35°12"W y altitud 48m) y el otro con una distancia de aproximadamente 10 km en el Aeropuerto Internacional Augusto Severo (5°54"S, 35°15"W, altitud de 51m), localizado en la región metropolitana en el municipio vecino de Parnamirim. Los datos del observatorio de Natal fueron suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología (INMET) y el del aeropuerto por el Instituto de Control del Espacio Aéreo (ICEA).

Para ello, se llevará a cabo la comparación de las temperaturas entre los dos observatorios antes referidos, donde en el caso de las diferencias de temperaturas entre ambos observatorios, fuesen positivas, se trataría de una islas de calor de la atmosfera urbana (ICU),

y por el contrario, si es negativa, estaríamos ante una isla de frescor de la atmosfera urbana (IFU).

Los datos estadísticos abarcaron las series largas de datos de la temperatura del aire máximas y mínimas en un período de 15 años seguidos (1995 hasta 2010). Con estos datos estadísticos primarios se han utilizado las técnicas de tratamiento estadístico, por lo tanto la base de datos fue tratada y sintetizada en el muestreo con las medidas de posición y dispersión entre las variables. Los análisis estadísticos fueron hechos a través del programa Excel.

Por último, según Fernández García (1996) la ICU se clasificó en débil, con intensidades comprendías entre 0°C y 2°C; moderada, entre 2°C y 4°C; fuerte, entre 4°C y 6°C y muy fuerte con intensidades superiores a 6°C.

4.3. LA ISLA DE CALOR DIURNA Y NOCTURNA DE LAS SÉRIES LARGAS DEL OBSERVATÓRIO DE NATAL Y AEROPUERTO

Para tener una primera visión general del comportamiento de las oscilaciones de las temperaturas del aire en Natal fueran integrados los promedios de las variables de temperaturas máximas y mínimas en el Tabla 4.1. Así, los promedios de las temperaturas máximas de Natal son de 29,8°C y en el aeropuerto 30,4°C, con una diferencia de 0,6°C a favor del aeropuerto que se caracteriza por una isla de frescor diurna. En cuanto a los promedios de las temperaturas mínimas, Natal presenta 22,8°C y el aeropuerto de 22,3°C, con una diferencia de 0,5°C a favor de Natal, que se caracteriza por una isla de calor nocturna. Por lo tanto para las temperaturas mínimas, la ciudad de Natal ya está como mínimo en medio grado más caliente (ICU) que su entorno, pero para las máximas el aeropuerto está 0,6°C (IFU) más caliente que Natal.

Tabla 4.1 - Temperaturas anuales de Natal y el aeropuerto, período de 1995-2010

Estaciones Meteorológicas Convencionales	Diurna (T _{máxima})	Nocturna (T _{mínima})
Natal INMET	29,8	22,8
Aeropuerto	30,4	22,3
Resta Natal INMET y Aeropuerto	-0,6	0,5

Fuente: INMET e ICEA

En las Figuras 4.1 y 4.2 está representado el régimen térmico anual de los correspondientes promedios para las temperaturas máximas y mínimas de Natal y el

aeropuerto.

Así, los promedios de las temperaturas máximas mensuales (periodo 1995-2010) de Natal oscilan entre 28,5°C a 30,8°C y el aeropuerto oscilan entre 29,1°C a 31,3°C (Figura 4.1). Como se ve, las temperaturas máximas del aeropuerto en todo el período son mayores que en Natal.

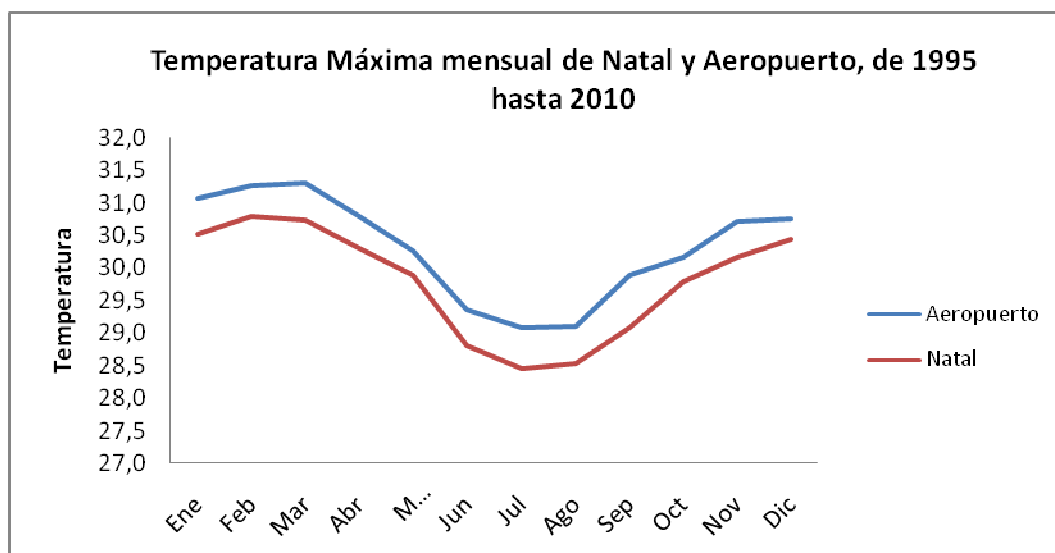


Figura 4.1 – El promedio mensual de las temperaturas máximas de Natal y el aeropuerto, entre 1995-2010. Fuente: INMET e ICEA

Al contrario, para las temperaturas mínimas mensuales (periodo 1995-2010) de Natal las temperaturas oscilan entre 20,5°C a 24,4°C y el aeropuerto entre 20,8°C a 23,5°C (Figura 4.2). Pero hay una pequeña oscilación de las curvas con descenso estacional normal en los meses de julio y agosto, donde la ciudad presenta temperaturas más bajas que el aeropuerto y un ascenso normal en los diez meses restantes del año.

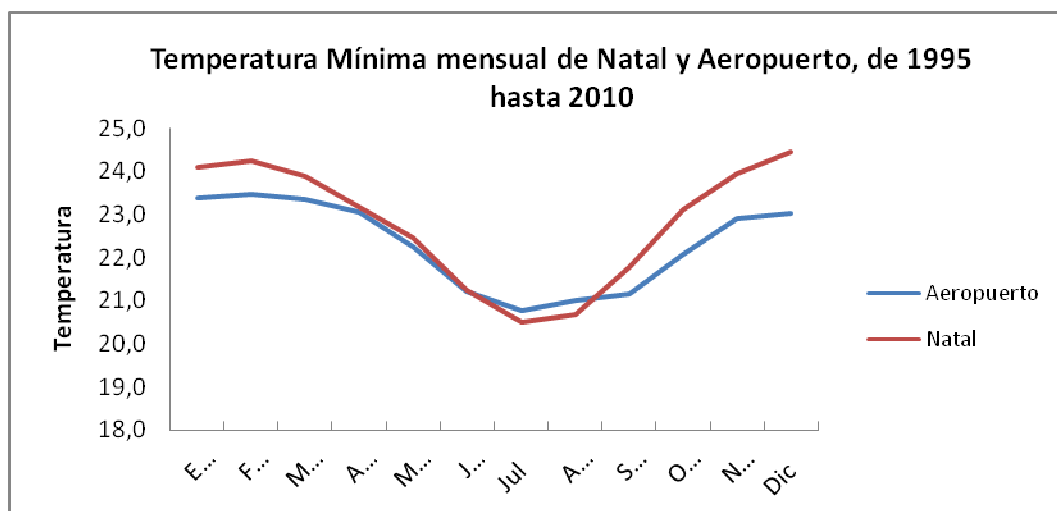


Figura 4.2 – El promedio mensual de las temperaturas mínimas de Natal y el aeropuerto, entre 1995-2010. Fuente: INMET e ICEA

Conocidos los episodios anteriores de los promedios, ahora para comprender mejor las oscilaciones térmicas de la ciudad y las presencias de las ICU y de la IFU en Natal se considerará a partir de los valores más frecuentes de los datos diarios del período en los cuatro histogramas de frecuencias entre las distintas temperaturas máximas y mínimas de Natal (Figuras 4.3 y 4.4) y del aeropuerto (Figuras 4.5 y 4.6).

El observatorio de Natal está representado el histograma de frecuencias para las temperaturas máximas en la Figura 4.3. Como se ve, los datos se distribuyen en una concentración de valores asimétricos positivos con una mayor concentración de valores entre los 28°C a 30,5°C y con la mayor frecuencia diaria de 30°C.

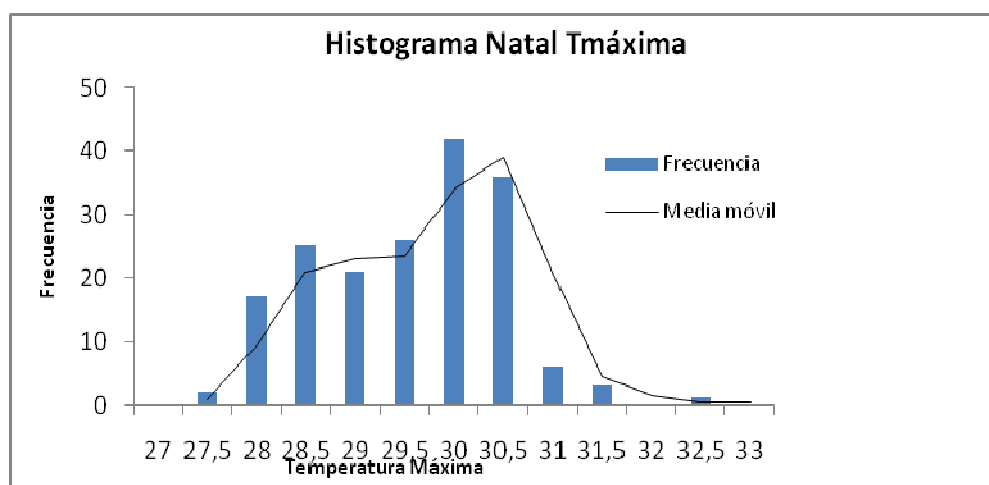


Figura 4.3 - Histograma de frecuencia de las temperaturas máximas mensuales de Natal, entre

1995-2010. Fuente: INMET e ICEA

Para las temperaturas mínimas de Natal (Figura 4.4) hay una distribución de valores simétricas que forman una curva ascendente con mayor concentración entre los valores de 20,3°C a 24,3°C y con un pico de más de 50% de frecuencia diaria de 22,3°C.

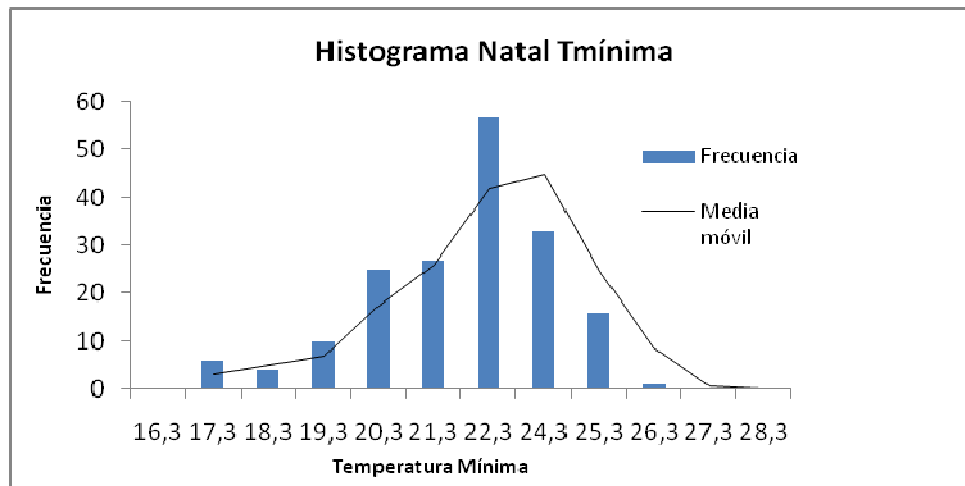


Figura 4.4 - Histograma de frecuencia de las temperaturas mínimas mensuales de Natal, entre 1995-2010. Fuente: INMET e ICEA

El observatorio del aeropuerto está representado el histograma de frecuencias para las temperaturas máximas en la Figuras 4.5. La distribución presenta una concentración de valores claramente simétricos oscilando a partir del pico de mayor frecuencia de 31°C y con una evidente mayor concentración de valores diarios entre los 30°C a 32°C.

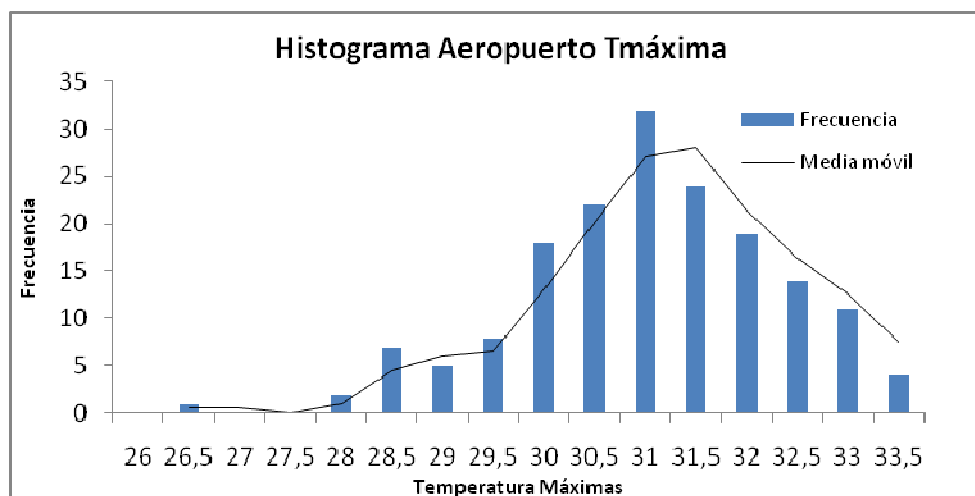


Figura 4.5 - Histograma de frecuencia de las temperaturas máximas mensuales del Aeropuerto de Natal, entre 1995-2010. Fuente: INMET e ICEA

En cuanto a las temperaturas mínimas (Figura 4.6), hay una distribución de valores más altos entre los 22°C a 24,5°C donde forman una curva muy abierta a partir de la frecuencia diaria más alta de 23°C.

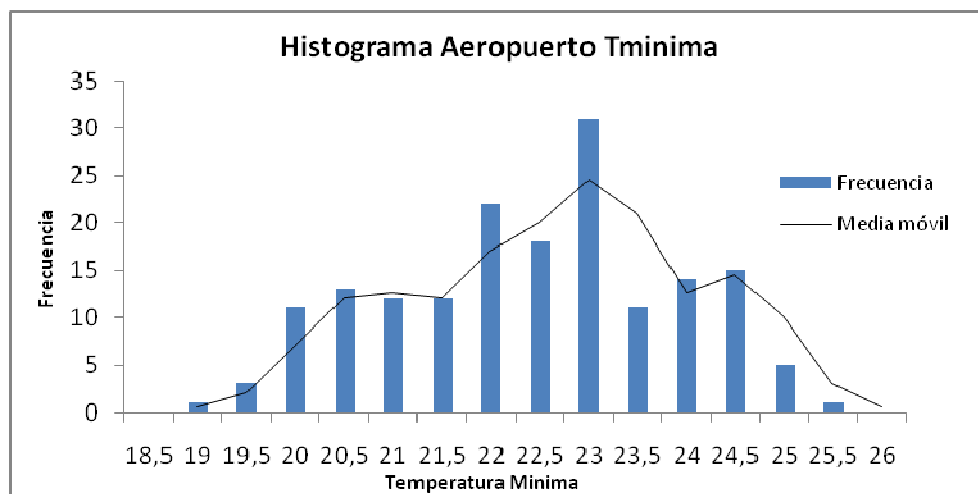


Figura 4.6 Histograma de frecuencia de las temperaturas mínimas mensuales del Aeropuerto de Natal, entre 1995-2010. Fuente: INMET e ICEA

Así, los valores más frecuentes de las series largas de los cuatro anteriores histogramas presentan en resumen los siguientes resultados. Las frecuencias de las temperaturas máximas del observatorio del aeropuerto son mayores que Natal siendo, el aeropuerto con valores entre 30°C a 32°C y el observatorio de Natal entre 28,5°C a 30,5°C. Para las frecuencias de las temperaturas mínimas el observatorio de Natal presentan valores más altos que el aeropuerto siendo, en Natal entre 20,3°C a 25,3°C y en el aeropuerto entre 20°C a 24,5°C.

4.4. LA INTENSIDAD Y FRECUENCIA DE LAS ISLAS DE CALOR ANUAL Y MENSUAL DE NATAL (1995-2010)

Partiendo de las temperaturas de Natal y del aeropuerto anteriormente presentadas se esquematizan las diferencias entre las distintas temperaturas máximas y mínimas en ambos lugares para poder determinar la intensidad y la frecuencia de las islas de calor urbanas (ICU) y de las islas de frescor urbana (IFU) de la atmósfera de Natal.

En el Cuadro 4.2 están representados los promedios de las diferencias de las temperaturas máximas entre Natal y el aeropuerto. Como puede verse, el aeropuerto presenta temperaturas un 0,5°C más cálidas que Natal y esos valores mayores se repiten para todos los meses. Mientras que los valores medios de las diferencias de las temperaturas mínimas Natal

esta 0,6°C más caliente que el aeropuerto. Solamente en el mes de julio Natal está 0,1°C más baja que el aeropuerto.

Cuadro 4.2 - Intensidad de las islas de calor de las temperaturas máximas y mínimas entre Natal y el aeropuerto, período de 1995-2010

Mes	Máximas	Mínimas
Enero	-0,5	1,0
Febrero	-0,5	1,0
Marzo	-0,5	0,8
Abril	-0,4	0,6
Mayo	-0,4	0,3
Junio	-0,5	0,2
Julio	-0,6	-0,1
Agosto	-0,6	0,0
Septiembre	-0,8	0,6
Octubre	-0,6	1,0
Noviembre	-0,6	0,9
Diciembre	-0,1	1,4
Año	-0,5	0,6

Fuente: INMET e ICEA

Así, para caracterizar mejor la ICU y la IFU en Natal se aplican las distintas diferencias de los promedios de las temperaturas máximas y mínimas para una situación anual en la Figura 4.7.

Para las temperaturas máximas (Figura 4.7) los valores se distribuyen de manera negativa y relativamente homogénea en casi todo el año a favor del aeropuerto, con la excepción de la baja en el mes de diciembre y de una oscilación mayor en el mes de septiembre. Así para las máximas el aeropuerto es mayoritariamente más caliente en todo el año que la ciudad de Natal.

Para las temperaturas mínimas (Figura 4.7) está representado un descenso gradual de las diferencias de febrero hasta en mínimo en julio y enseguida un ascenso gradual hasta diciembre. Las diferencias tienen valores más grandes en los meses de otoño y verano con una disminución de las barras en los meses de julio y agosto, descenso este que llega a ser negativo en el mes de julio, mes de invierno. Esta contracción de las diferencias de las temperaturas revela que el período lluvioso normal entre mayo y agosto, muy a menudo, es un

factor que hace más frescas las temperaturas en ambos lugares.

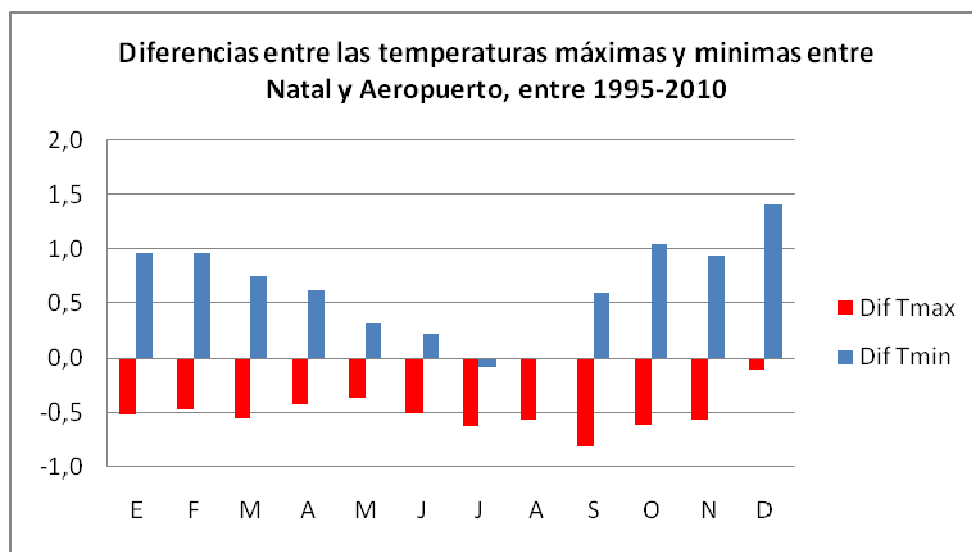


Figura 4.7 - Diferencias entre las temperaturas máximas y mínimas entre Natal y el aeropuerto, en el período 1995-2010. Fuente: INMET e ICEA

En consecuencia esta visión de conjunto en la Figura 4.7 revela que la ciudad está más caliente que su entorno en las mínimas y más fresca en las máximas. El ascenso de las diferencias en las mínimas entre los meses de octubre hasta febrero con pico en diciembre visualiza la formación de una ICU en el verano en Natal.

Una probable explicación para los promedios de las temperaturas máximas en el aeropuerto (ubicado en la área periférica) sean mayores que el observatorio de Natal. Sigue por tanto el típico esquema de los sensores del observatorio del aeropuerto que están instalados en el borde de las pistas de vuelo, que refleja todo el calentamiento diurno del asfalto. Al contrario, el observatorio de Natal está localizado en una zona verde del campus de la universidad federal.

El siguiente paso es determinar cuáles son las frecuencias de las islas de calor entre las máximas y mínimas. Ello es posible con la esquematización en los histogramas de las Figuras 4.8 y 4.9. En ellos están representadas las frecuencias de las diferencias entre las temperaturas máximas y mínimas entre Natal y el aeropuerto.

La Figura 4.8 representa las frecuencias de las diferencias para las temperaturas máximas entre Natal y el aeropuerto. Lo que se observa es que hay una distribución muy repartida entre los valores, mientras los valores negativos son predominantes en más de 62% de las diferencias. Es importante señalar que de estos valores 38% están por encima de los 0,1

grados y de estos hay un 5% por encima de 1 grado. A pesar de que predominan los valores negativos y que esto representa la presencia de una IFU en Natal, sin embargo hay una tendencia ya marcada de una inversión, cuyas diferencias de temperaturas se acercan a los valores positivos. La situación que nos muestra es que para las temperaturas máximas, en un 62% de los casos existe la presencia de una IFU en Natal y en 38% de los casos ya presenta la formación de ICU en Natal.

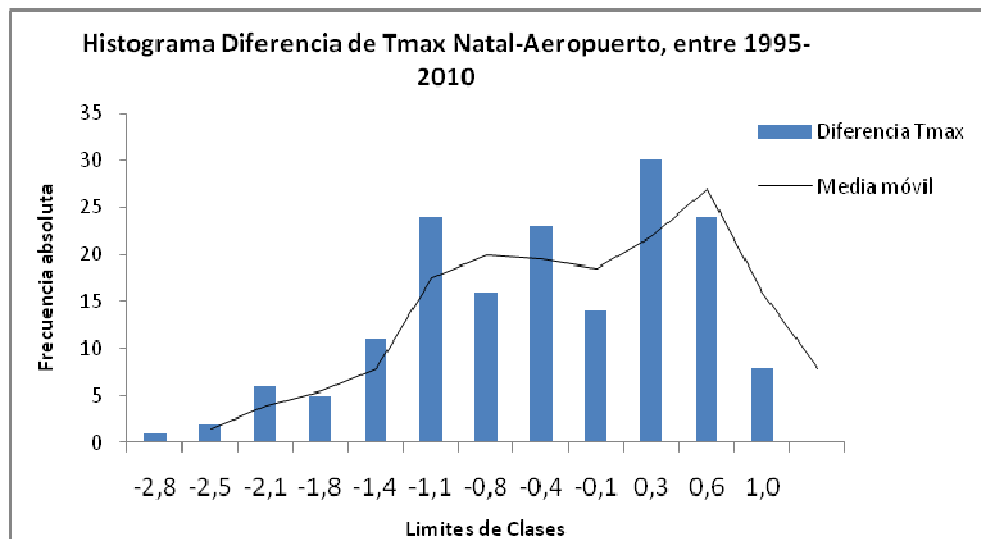


Figura 4.8 - Frecuencia de las diferencias entre las temperaturas máximas entre Natal y el aeropuerto, entre 1995-2010. Fuente: INMET e ICEA

La Figura 4.9 representa las frecuencias de las diferencias para las temperaturas mínimas entre Natal y el aeropuerto. En ella vemos que, hay una distribución repartida con un pico en los 1,7 grados y descenso brusco a la derecha y lento a la izquierda. El hecho distintivo de esta situación es que en un 68% de los valores de las frecuencias de las mínimas están por encima de 0,5 grados, y además el 18% de los valores de las frecuencias de las mínimas están por encima de los preocupantes 2 grados. Esto viene a comprobar que para las temperaturas mínimas, en un 68% de los casos existe la presencia de una ICU en Natal y en un 32% de los casos presenta la formación de IFU en Natal. Está muy evidente la formación de ICU en Natal en las temperaturas mínimas.

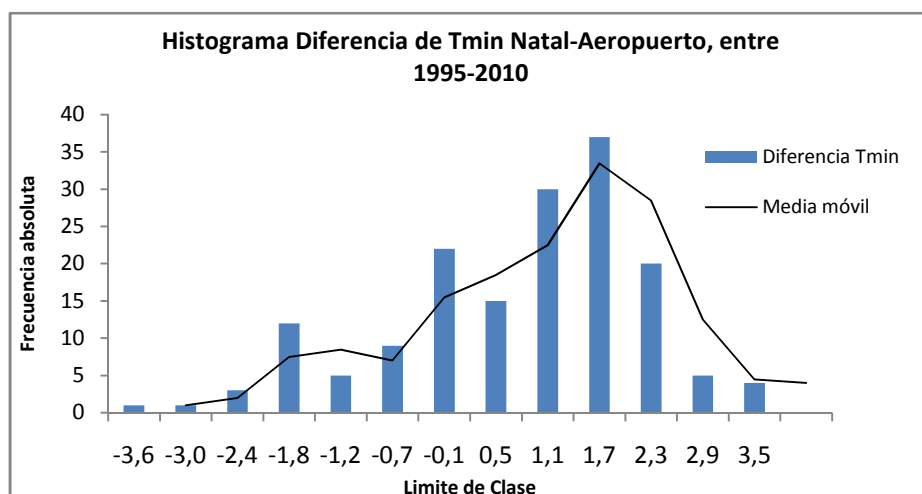


Figura 4.9 - Frecuencia de las diferencias entre las temperaturas mínimas entre Natal y el aeropuerto, en el período 1995-2010. Fuente: INMET e ICEA

Estos hechos nos muestran en ambos casos la presencia de una ICU Débil en Natal. Esta se presente en el 68% de los casos para las temperaturas mínimas y para las máximas está presente en un 38% de los casos.

De todo lo expuesto hasta ahora se hace necesario determinar: ¿cuáles son las probabilidades de que se produzca ICU e IFU y su intensidad en Natal? Para despejar esta cuestión el análisis a través de los cálculos de los valores de los percentiles son útiles cuando se necesita establecer la posición relativa de valores en un grupo de datos (Mafokozi, 2009).

Así, en el cuadro 4.3 está el resultado por meses del periodo entre 1995 a 2010 de las diferencias entre las temperaturas máximas entre Natal menos el aeropuerto.

De los resultados obtenidos (cuadro 4.3) los que más llama atención es el nonagésimo percentil donde todos los valores superan los 0,5°C, lo que significa que, de todo el periodo, como mínimo en un 10% de todos los días Natal presenta 0,5°C por encima del aeropuerto, que es una ICU Débil. Los valores de la IFU están representados en el quincuagésimo percentil donde todos los valores son negativos, por lo tanto, las diferencias para las temperaturas máximas la ciudad de Natal presenta temperaturas máximas menores que el aeropuerto.

Cuadro 4.3 - Valores de los percentiles por meses de las diferencias entre las temperaturas máximas entre Natal menos el aeropuerto, en el período 1995-2010

Mes	Mínimo	P10	P25	Mediana	P50	Promedio	Moda	P75	P90	P99	Máximo
Enero	-6,7	-2,1	-1,2	-0,4	-0,4	-0,5	0,0	0,2	0,8	2,3	6,2

Febrero	-4,2	-2,0	-1,3	-0,3	-0,3	-0,5	0,0	0,3	0,8	2,3	3,1
Marzo	-3,8	-2,0	-1,2	-0,3	-0,3	-0,4	0,0	0,2	0,9	2,2	4,0
Abril	-6,4	-2,2	-1,4	-0,4	-0,4	-0,5	0,0	0,3	1,0	2,0	3,4
Mayo	-6,7	-2,0	-1,4	-0,4	-0,4	-0,4	0,2	0,4	1,2	2,8	5,7
Junio	-3,0	-1,9	-1,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,2	0,4	1,2	2,9	6,2
Julio	-5,3	-2,2	-1,3	-0,6	-0,6	-0,5	-0,8	0,3	1,0	4,7	5,5
Agosto	-5,4	-2,4	-1,4	-0,5	-0,5	-0,6	0,0	0,2	0,8	2,9	5,3
Septiembre	-4,0	-2,0	-1,4	-0,6	-0,6	-0,6	-1,4	0,2	0,8	2,1	3,8
Octubre	-4,8	-2,3	-1,5	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	0,0	0,5	1,3	2,6
Noviembre	-3,6	-2,0	-1,3	-0,5	-0,5	-0,6	-0,2	0,1	0,7	1,5	2,3
Diciembre	-3,2	-2,0	-1,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	0,2	0,8	1,8	1,9
Año	-3,4	-2,3	-1,4	-0,4	-0,4	-0,6	0,0	0,4	0,8	1,6	3,0

Fuente: INMET e ICEA

Así en el cuadro 4.4 está el resultado por meses del periodo entre 1995 a 2010 de las diferencias entre las temperaturas mínimas entre Natal menos el aeropuerto.

Se puede resaltar que los valores del septuagésimo quinto percentil muestran que en los meses de enero, febrero, marzo, septiembre, octubre, noviembre y diciembre en los 25% de los días Natal presenta más de 1,0°C de temperatura mayor que el aeropuerto. Esto significa que en todo el periodo un cuarto de todos los días Natal presenta una ICU débil.

También en este cuadro 4.4, de los resultados obtenidos se observa que el nonagésimo percentil supera en 2°C en los meses de febrero, octubre, noviembre y diciembre, además de los 1,9°C en enero y septiembre, lo que significa que, de todo el periodo, como mínimo un 10% de los días Natal está 2°C por encima de su entorno, que es una muy preocupante ICU Moderada.

Cuadro 4.4 - Valores de los percentiles por meses de las diferencias entre las temperaturas mínimas entre Natal menos el aeropuerto, en el período 1995-2010

Mes	Mínimo	P10	P25	Mediana	P50	Promedio	Moda	P75	P90	P99	Máximo
Enero	-6,1	-3,2	-1,7	0,0	0,0	-0,3	-0,9	1,2	1,9	3,0	3,8
Febrero	-5,9	-3,2	-1,1	0,2	0,2	-0,1	0,1	1,2	2,1	3,1	4,0
Marzo	-6,3	-3,3	-1,3	0,0	0,0	-0,4	0,3	1,0	1,8	3,3	4,2
Abril	-5,9	-3,4	-1,5	-0,2	-0,2	-0,6	-0,1	0,6	1,2	2,2	4,2
Mayo	-6,4	-3,9	-1,9	-0,5	-0,5	-0,8	1,0	0,6	1,2	2,4	3,6
Junio	-6,3	-3,6	-2,1	-0,9	-0,9	-1,1	-0,3	0,2	0,8	2,0	3,1
Julio	-5,3	-3,9	-2,7	-1,1	-1,1	-1,3	-2,9	0,1	0,9	2,0	4,1
Agosto	-6,5	-3,9	-2,7	-0,8	-0,8	-1,1	0,9	0,6	1,3	2,3	3,4
Septiembre	-6,3	-3,2	-2,1	-0,5	-0,5	-0,6	-2,9	1,1	1,9	3,2	3,8
Octubre	-7,3	-3,5	-1,9	0,0	0,0	-0,4	0,9	1,3	2,2	3,2	4,5

Noviembre	-5,2	-3,1	-2,1	0,0	0,0	-0,3	0,3	1,4	2,1	2,9	3,6
Diciembre	-5,4	-3,3	-1,5	0,4	0,4	-0,1	0,8	1,5	2,3	3,4	3,7
Año	-7,3	-3,5	-1,5	-0,3	-0,3	-0,6	-0,9	0,9	1,8	3,0	4,5

Fuente: INMET e ICEA.

Estos datos permiten posicionar que hay una oscilación de temperaturas en la atmósfera urbana de la ciudad de Natal y también la caracterización y formación de las ICU y la IFU en la ciudad. Hay que señalar que las situaciones sinópticas predominantes (ZCIT, los sistemas frontales y los vientos alisios del sureste) son determinantes para el clima y las oscilaciones de temperaturas en la región de Natal.

La isla de calor diurna y nocturna fue el primer paso constatado con la presencia de una IFU diurna y una ICU nocturna y lo que se demuestra es que sigue el mismo ritmo anual y estacional, eso comprueba el ritmo normal de formación de las islas de calor en la ciudad de Natal.

La isla de calor urbana ICU, se puede afirmar que mismo con diferentes ritmos sigue la estacionalidad, está muy presente en el otoño y verano con intensidad por encima de los 0,9°C en estos periodo. Para la IFU en Natal, los datos presentan que en todo el año, en los meses de abril, mayo, junio y julio es un poco más influyente con temperaturas de más de 1,0°C de diferencia entre Natal y aeropuerto.

Moreira y Galvínco (2007) concluyeron que la ciudad de Recife (distante 286 km de Natal) presenta una ICU máxima de 5°C. Moura, Zanella y Sales (2008) analizaron las ICU en la ciudad de Fortaleza más frecuente por las mañanas y tardes con intensidad hasta 4,7°C. Eso demuestra que ciudades con las mismas características climáticas de Natal presentan resultados que comprueban los aquí obtenidos. La ciudad de Natal tiene la presencia de una ICU Débil como mínimo en un 25% de los días y con una temperatura del aire 0,9°C por encima del aeropuerto o mejor su entorno. Y una ICU Moderada presente en un 10% de los días con valores encima de 2°C el Natal. Así, una ciudad de clima tropical como Natal el calentamiento urbano, por sí solo, ya es algo muy preocupante para la población de la ciudad.

Todo ello determinará diferencias sustanciales para la caracterización de la isla de calor y la isla de frescor de la atmosfera urbana de Natal, pero de hecho, es en la ICU donde las respectivas diferencias entre las correspondientes temperaturas mínimas presentan los valores más destacadamente preocupantes el Natal.

4.5. CONCLUSIÓN

La comparación de los datos de la temperatura del aire entre las dos estaciones meteorológicas a través del análisis estadístico en el periodo entre 1995 a 2010 fue hecha con un total de más de 5.400 días.

Los resultados diarios revelan que del total de los 5.440 días (1995-2010) la ciudad de Natal presentó para las temperaturas máximas más de 1.580 días con la formación de isla de calor, esto es, las temperaturas máximas de Natal fueron mayores que las del aeropuerto. De igual manera, para la temperaturas mínimas fueron 2.408 días con la formación de isla de calor, esto es, las temperaturas mínimas de Natal fueron mayores que los del aeropuerto.

Los resultados de las temperaturas máximas y mínimas comprueban que la ciudad de Natal tiene la presencia de una ICU nocturna de 0,5°C y una IFU diurna de 0,6 °C.

Los resultados anuales mostraron que la ciudad presenta ICU para las temperaturas mínimas en casi todos los meses, con excepción de los meses de invierno o de las lluvias (JJA) donde el aeropuerto es más caliente que la ciudad. Al contrario para las temperaturas máximas con la presencia de una IFU en todo el año. Así, la ciudad está más caliente que su entorno en las mínimas y más fresca en las máximas.

Las variaciones estacionales de las ICU se confirman a través de las diferencias térmicas que presentan una intensidad por encima de los 0,9°C muy marcada en los meses de otoño y verano para en el periodo caracterizado como una ICU Débil.

Un dato revelador y preocupante de los resultado es que un 10% de los 5.440 días Natal tiene una temperatura del aire 2°C por encima del aeropuerto, lo cual explica la presencia de una ICU Moderada.

La presencia de una ICU en una ciudad de clima tropical como Natal es algo preocupante y requiere políticas urbanas sostenibles y con una clara visión ambiental, porque al final los riesgos son claros, provocan evidentes problemas ambientales, además de económicos y sociales.

CAPÍTULO 5. LA DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA ISLA DE CALOR URBANA ATMOSFÉRICA DE NATAL

5.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene como objetivo el análisis de las islas de calor urbanas atmosféricas (ICUA) y de las islas de frescor urbanas atmosféricas (IFUA) a través de los análisis de los transectos móviles de la ciudad de Natal. Las islas de calor urbanas constituyen entre los actuales problemas ambientales uno de los más evidentes, y hay diferentes maneras de estudiarlas. Una de las más utilizadas es el análisis de medición de las temperaturas del aire a partir de transectos móviles en las zonas urbanas.

Para el análisis de las ICUA y de las IFUA de Natal en primer lugar fueron analizadas detalladamente las temperaturas atmosféricas (TA) en cada estación del año, en segundo lugar fueron delimitadas y identificadas las áreas térmicas de la ciudad ICUA e IFUA, en tercer lugar el análisis histórico entre los transectos de 1990 y 2012 y por último las conclusiones. También se han calculado las correlaciones y la dispersión entre las variables de las temperaturas de los termohigrómetros y de los puntos de control.

El análisis se efectúa a través de dos transectos móviles a lo largo de la ciudad, y con un total de 51 puntos de mediciones, seleccionados en función de las características urbanas, la optimización del tiempo y de logísticas de transporte. Así, los transectos incluyen los principales barrios, avenidas y calles de las cuatro zonas urbanas administrativas, Norte, Sur, Este y Oeste de la ciudad y la duración de cada transecto fue de aproximadamente una hora y media.

Se realizaron siete campañas de mediciones durante los meses de julio y octubre de 2011, enero, abril, julio y octubre de 2012 y enero de 2013, meses representativos de las cuatro estaciones del año. En cada punto se han realizado mediciones de la temperatura del aire, humedad y velocidad del viento, además en algunos puntos la temperatura del suelo.

Los resultados nos permitieron definir los contrastes térmicos en la zona urbana y establecer los patrones espaciales de la isla de calor a lo largo del año.

5.2. METODOLOGÍA

El análisis de las temperaturas atmosféricas (TA) y de las islas de calor y frescor urbanas (ICUA e IFUA) el Natal se realizó a partir de los datos obtenidos en dos transectos móviles, como se ha dicho anteriormente, distribuidos en 51 puntos de mediciones en la

ciudad.

Para que el muestreo fuese lo más completo posible dentro de las condiciones termohigrométricas de la ciudad se diseñaron siguiendo una ruta Norte-Sur incluyendo las zonas edificadas y las de protección ambientales (Figura 5.1). En la ruta Norte se han tomado mediciones en 29 puntos y en la ruta Sur en 22 puntos con un total de 51 puntos de mediciones, todos estos puntos fueron localizados de acuerdo con las tipologías del suelo urbano (Figura 5.2). En total fueron realizados 126 recorridos distribuidos entre tres períodos del día, por las mañanas entre las 7:00h y las 09:00h; por las tardes entre las 13:00h y las 15:00h y por las noches entre las 19:00h y las 21:00h.

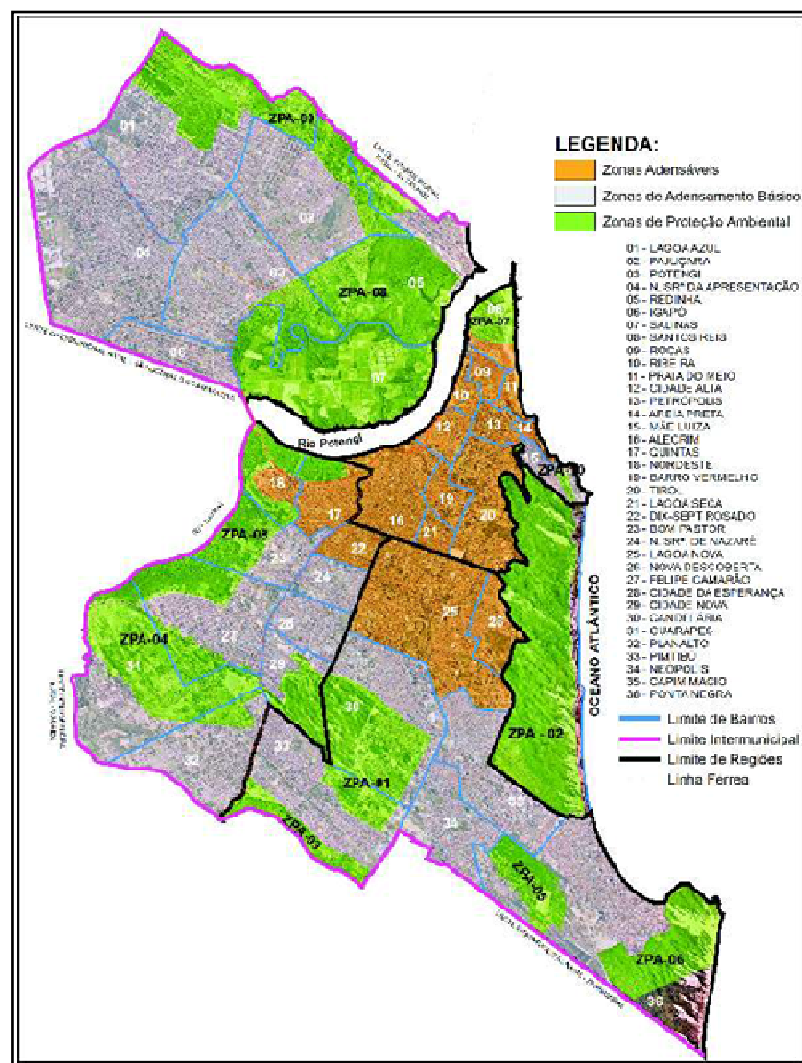


Figura 5.1 - Localización de los límites de barrios de la ciudad de Natal, Brasil. Fuente: Prefeitura Municipal de Natal, 2013

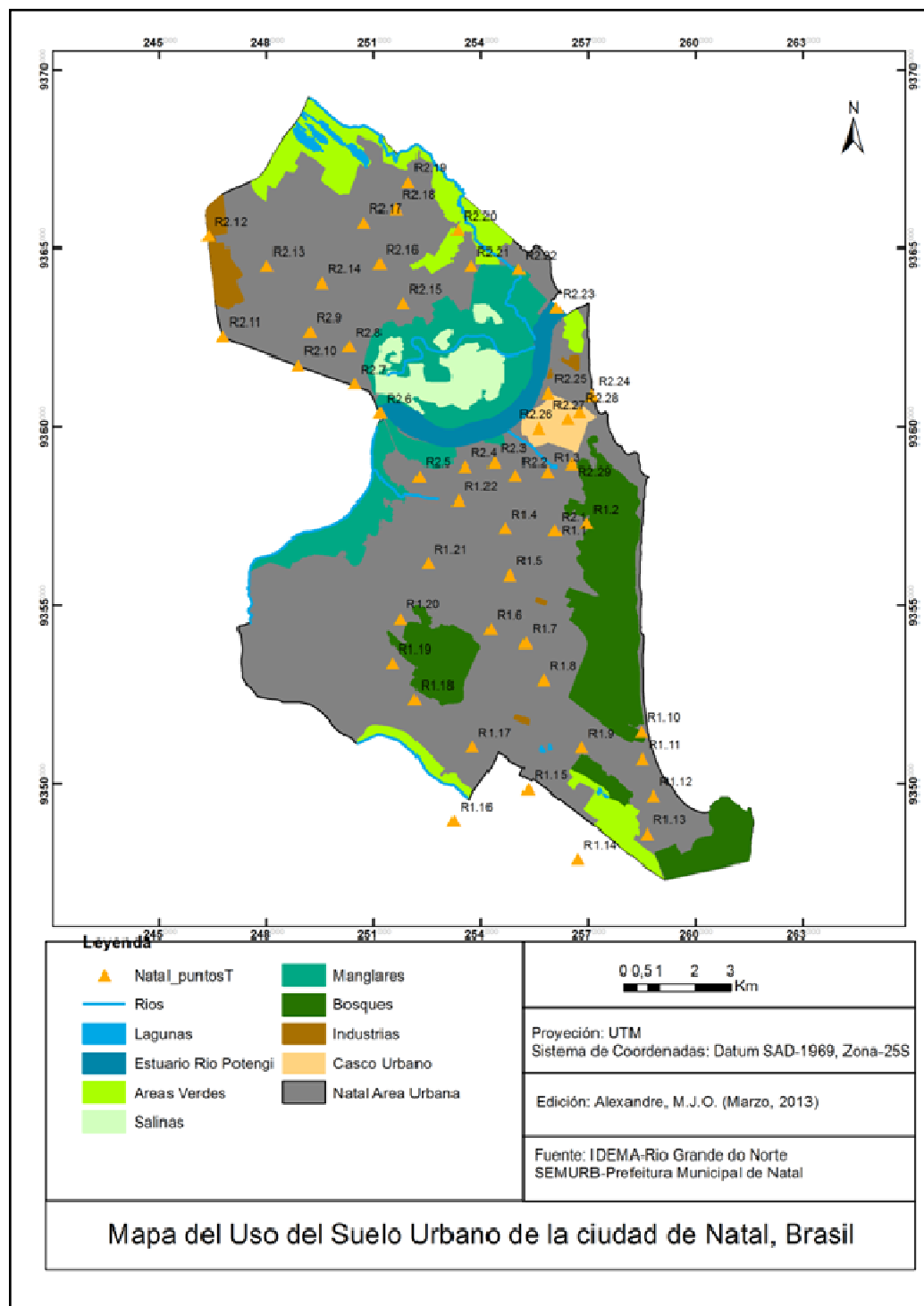


Figura 5.2 - Localización del uso del suelo urbano con los puntos de mediciones de los transectos, Natal, Brasil. Fuente: IDEMA/RN y Prefeitura Municipal de Natal, 2013

En los transectos se utilizaron aparatos de medida no convencionales manuales (*thermometer hygrometer anemometer*, marca Skywatch Atmos, fabricante JDC Swiss) y los dos instrumentos fueron calibrados en la estación meteorológica de la ciudad (Figura 5.3 y

Figura 5.4). El resultado de los gráficos muestra que hay una correlación positiva a demás del alto valor del coeficiente de determinación (97% y 91%) que indican un buen ajuste de los aparatos entre las mediciones de temperatura entre el instrumento de la Estación Meteorológica del INMET Natal y los dos termohigrómetros A y B utilizados en el muestreo de campo,.

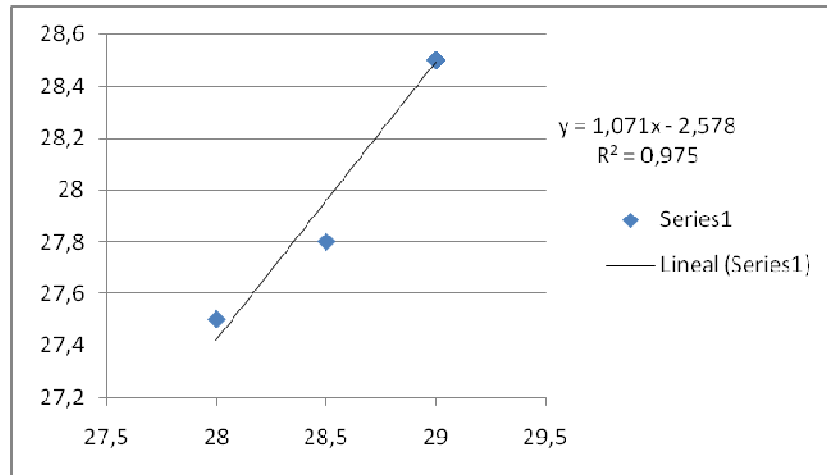


Figura 5.3. Gráfico de dispersión de los Teste de Calibración de los Termohigrómetros, Estación Meteorológica del INMET Natal versus Skywatch A

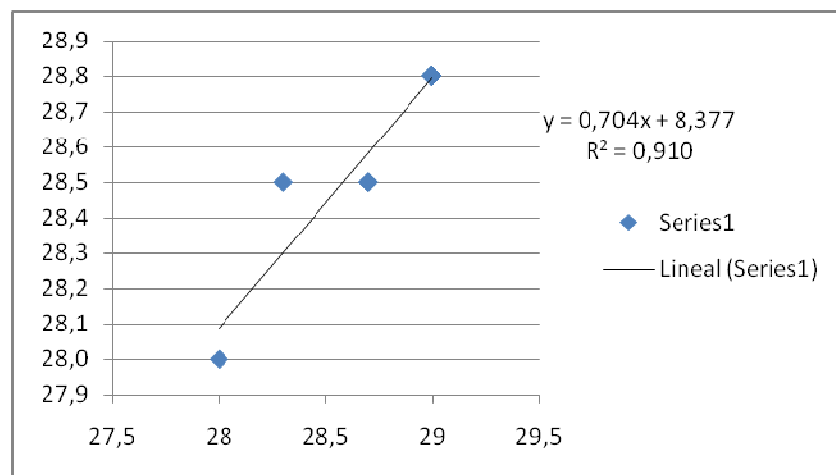


Figura 5.4. Gráfico de dispersión de los test de calibración de los termohigrómetros, Estación Meteorológica del INMET Natal versus Skywatch B

También fueron determinados dos puntos de control R1.1 y R2.1 puntos estos correspondientes exactamente al mismo sitio de medición y en estos dos puntos se procedieron las medidas de la temperatura al mismo tiempo y en todos los recorridos (Figura 5.5). El resultado del gráfico muestra que hay una correlación positiva y el alto valor del

coeficiente de determinación (90%) indica un buen ajuste entre los dos aparatos (termohigrómetros A y B) entre las mediciones de temperatura del punto de control.

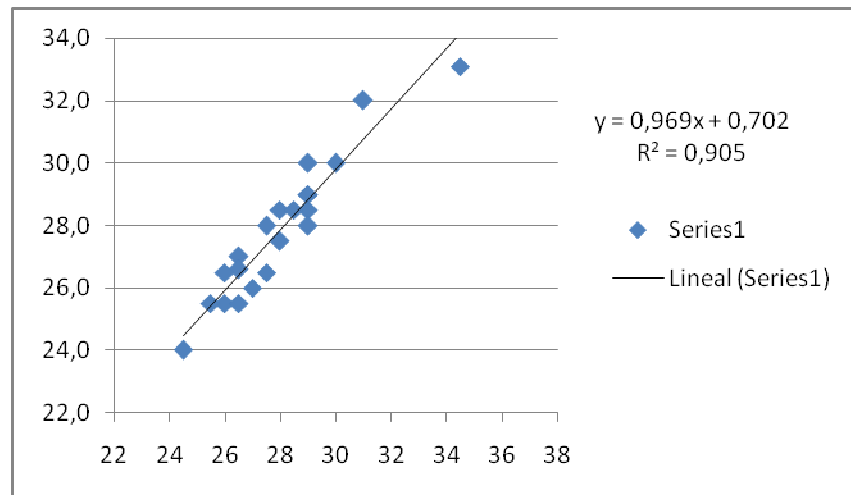


Figura 5.5. Gráfico de dispersión de los dos puntos de control de los transectos R1.1 y R2.1

Se eligieron los puntos de mediciones más representativos de los transectos teniendo en cuenta las tipologías urbanas más representativas y las principales características de cada área de la ciudad (Cuadro 5.1). A demás de los 10 tipos de tipologías de espacios caracterizados según los usos del suelo fueron añadidos más dos nuevas tipologías siendo, UA (Urbano con Agua) y UV (Urbano con Verde). En cada tipología se acotaron cuadrados de 500m de lado cada uno de los cuales se caracterizó según el porcentaje de la superficie ocupada por diferentes variables de la tipología del suelo urbano relacionadas con la temperatura.

Cuadro 5.1 - Tipologías del suelo urbano relacionadas con la temperatura

Índice	Tipología	Características
UEA	Urbano Edificios Altos	Los edificios con 5 o más plantas ocupan más del 80% de la superficie, ausencia casi total de vegetación, menos del 10%.
UEB	Urbano Edificios Bajos	Igual que el anterior, pero con edificios de 4 o menos plantas.
EAA	Urbano Edificios Altos y Asfalto	Vegetación inferior al 10%, el resto ocupado por asfalto y edificios con 5 o más plantas, con predominio del asfalto.
EBA	Urbano Edificios Bajos y Asfalto	Igual que el anterior, pero con edificios de 4 o menos plantas.
UAA	Urbanización Abierta de Edificios Altos	Ocupado por edificios con 5 o más plantas y asfalto, con predominio del asfalto y con vegetación superior al 30%.

UAB	Urbanización Abierta de Edificios Bajos	Ocupado por edificios de 4 o menos plantas y asfalto, con predominio del asfalto y con vegetación superior al 30%.
ID	Industrial Denso	Construcciones industriales y superficies asfaltadas ocupan más del 80% de la superficie, con predominio de los primeros.
Id	Industrial Disperso	Construcciones industriales y superficies asfaltadas ocupan más del 80% de la superficie, con predominio de las vías de comunicación y aparcamientos.
P	Periferia	Los campos de cultivo y caminos sin asfaltar ocupan más del 50% de la superficie.
R	Zonas Rurales	El asfalto y las edificaciones ocupan menos de 20% de la superficie.
UA	Urbano con Agua	Ocupado por edificios y asfalto, con superficie de agua, playas, lagunas, ríos que ocupan más del 50% de la superficie, con predominio de lo primero.
UV	Urbano con Verde	Ocupado por edificios y asfalto, con superficie de áreas verdes, parques y bosques urbanos que ocupan más del 50% de la superficie.

Fuente: Fernández García (1996, p. 269) con adaptación.

En los cuadros 5.2 y 5.3 se describen las principales características de los puntos en las rutas con la definición de las tipologías urbanas. De hecho, la ciudad de Natal ocupa toda su área territorial sin la presencia de zonas rurales, además rebasa sus límites urbanos en las áreas territoriales de los municipios limítrofes.

Cuadro 5.2 - Localización de los puntos del transecto-1 con las tipologías del suelo

Transecto 1 – Ruta Sur (Zonas Sur, Este y Oeste de Natal)		
Punto	Localización	Tipología
R1.1	IFRN - barrio Tirol	UAB
R1.2	Parque de las Dunas y Bosque dos Enamorados - barrio Tirol	UAB
R1.3	Confluencia de la Av. Prudente de Moraes y c. Alberto Maranhao - barrio Barro Vermelho	UEB
R1.4	Confluencia de la Av. Antonio Basilio y av Jaguarari - barrio Lagoa Seca	EBA
R1.5	Confluencia de la Av. Prudente de Moraes y av Lima e Silva - barrio Lagoa Nova	EBA
R1.6	Confluencia de la Av. Prudente de Moraes y c. Bento Gonçalves - barrio Candelaria	EBA
R1.7	Carretera BR-101 enfrente al CC Natal Shopping - barrio Candelaria	EBA
R1.8	Confluencia de la Av. Roberto Freire y av Airton Senna - barrio Capim Macio	EBA
R1.9	Confluencia de la Av. Walter Duarte Pereira y Enico Monteiro - barrio Capim Macio	EBA

R1.10	Centro de Convenciones de Natal – Sur del Parque de las Dunas	UV
R1.11	Confluencia de la Av. Roberto Freire delante de la Feira de Artesanato - barrio Ponta Negra	UAA
R1.12	Confluencia de la Av. Praia de Pirangi y c. Praia de Buzios - barrio Ponta Negra	EBA
R1.13	Confluencia de la Av. Praia de Pirangi enfrente al ABC Fútbol Club – Parnamirim	UAB
R1.14	Rotatoria de Av. Gastao Martiz de Faria y Av. Airton Senna - Nueva Parnamirim	EBA
R1.15	Confluencia de la Av. Abel Cabral y av Sao Miguel dos Caribes, gasolinera Ale - Nueva Parnamirim	EBA
R1.16	Carretera BR-101 en la puente peatonal de Emaus - Parnamirim	UAB
R1.17	Confluencia de la Av. Xavantes y c. Ubaia, gasolinera Fan - barrio Ciudad Satélite	EBA
R1.18	Confluencia de la Av. Xavantes y c. Rio Pardo, Supermercado Super Show - barrio Ciudad Satélite.	EBA
R1.19	Estación de Tren Pitimbu - barrio Planalto	EBA
R1.20	Confluencia de la Av. Central y Monte Calvo - barrio Ciudad Nueva	EBA
R1.21	Estación de autobuses de Natal - barrio Nossa Senhora de Nazaré	EBA
R1.22	Confluencia de la Av. Bernardo Vieira y Av. Coronel Estevao - barrio Dix-Sept Rosado	EBA

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 5.3 - Localización de los puntos del transecto-2 con las tipologías del suelo

Transecto-2 – Ruta Norte (Zonas Norte, Oeste y Este de Natal)		
Punto	Localización	Tipología
R2.1	IFRN - barrio Tirol	UAB
R2.2	Confluencia de la Av. Alexandrino de Alencar y c. Olinto Meira - barrio Alecrim	UEB
R2.3	Confluencia de la Av. Amaro Barreto en la Plaza Gentil Ferreira - barrio Alecrim	UEB
R2.4	Confluencia de la Av. Dr. Mario Negocio y c. Conego Monte, línea del tren - barrio Quintas	EBA
R2.5	Avenidas Bernardo Vieira enfrente a Urbana - barrio Quintas	EBA
R2.6	Puente de Igapó parte Central	UA
R2.7	Confluencia de la Av. Tomaz Landim y Av. Joao Medeiros Filho, despues del Tunel Igapó	EBA
R2.8	Confluencia de la Av. Joao Medeiros Filho y Av. Paulistana, delante del Colegio Hipocrates-Potengi	EBA
R2.9	Confluencia de la Av. Paulistana y Av. Das Fronteiras - barrio Panatis	EBA
R2.10	Rotonda de la Av. Tomas Landim y c. Rego Muleiro, Gancho - barrio Igapo	EBA
R2.11	Rotonda de la Av. Tomas Landim y BR 406 - Sao Gonçalo do Amarante	Id
R2.12	Confluencia de la Av. Maranguape y BR 101, al lado de la Ind. Guararapes - barrio Nossa Senhora da Apresentação.	Id

R2.13	Confluencia de la Av. Maranguape y Av. Des. Francisco de A. Martins, Tienda Canto de la Construção – barrio Nossa Senhora da Apresentação	EBA
R2.14	Av. das Fronteiras campus del IFRN zona Norte - barrío Potengi	EBA
R2.15	Confluencia de la Av. Itapetinga y Av. Joao Medeiros Filho, Próximo Penitenciaria Feminina - barrío Potengi.	EBA
R2.16	Confluencia de la Av. Itapetinga y c. Ubaiatuba, enfrente Biblioteca Pública - barrio Santarém.	EBA
R2.17	Av. Guararapes prox. al Estadio Polideportivo Nelio Días - barrio Pajuçara	EBA
R2.18	Confluencia de la Av. Imigrantes y c. Trindade, enfrente Iglesia Cong. Crista do Brasil - barrio Pajuçara	EBA
R2.19	Confluencia de la Av. Imigrantes y Estrada de Pajuçara, al lado Supermercado Brasileirinho - barrio Pajuçara	EBA
R2.20	Confluencia de la Av. Moema Tinoco da Silva y Av. Barragem Armando Ribeiro, curva en S - barrio Pajuçara	P
R2.21	Confluencia de la Av. Moema Tinoco y av Dr. Joao Medeiros Filho - barrio Niteroi	EBA
R2.22	Rotonda Av. Dr. Joao Medeiros Filho - barrio Redinha	UAB
R2.23	Puente Nilton Navarro, parte Superior Central	UA
R2.24	Av. Pres Café Filho, Playa del Medio - barrio Praia do Meio	UA
R2.25	Confluencia de la Av. Duque de Caxias y Av. Tavares de Lira - barrio Ribeira	UAB
R2.26	Confluencia de la Av. Rio Branco y Joao Pessoa, Grande Punto - barrio Ciudad Alta	UEA
R2.27	Confluencia de la Av. Prudente de Moraes y c. Potengi - barrio Tirol	UEA
R2.28	Confluencia de la Av. Joaquim Manoel y Dionízio Filgueira - barrio Petropolis	UEB
R2.29	Confluencia de la Av. Hermes da Fonseca y Ceará Mirim - barrio Tirol	UEB

Fuente: elaboración propia.

Los recorridos fueron realizados en siete etapas: Julio de 2011, Octubre de 2011, Enero de 2012, Abril de 2012, Julio de 2012, Octubre de 2012 y el y último en Enero de 2013. En cada período se midió la temperatura del aire, humedad y la velocidad del viento en tres horarios diarios y durante tres días consecutivos o alternos. Sumando un total de 21 días de recorridos y 63 horarios de mediciones.

Es importante señalar que, en todas las mediciones y en todos los días de los transectos siempre fueron realizados sin la presencia de lluvias, asimismo en los días de mucha nubosidad y lluviosos los recorridos fueron sin las precipitaciones salvo lloviznas esporádicas. Además cada observador dirigía los termohigrómetros a 1,5m del suelo esperando en torno a 3 minutos en cada punto antes de hacer la lectura.

Todos los recorridos se realizaron durante tres días consecutivos o alternados en cada campaña. Eso, por tres motivos principales: para poder comparar los datos

medidos en cada día y elegir la campaña con menos anomalías o perturbaciones atmosféricas, para minimizar los errores que pudieran ocurrir en cada recorrido y para resguardarse de algún fallo técnico, de logística o humano en algún día de los transectos. De los tres días se seleccionó un día a partir de los criterios anteriores establecidos (Cuadro 5.4).

Cuadro 5.4. Fechas de los transectos en Natal en diferentes estaciones del año

Estaciones del año	Transectos	
Invierno	11 de julio de 2011	11 de julio de 2012
Primavera	6 de octubre de 2011	24 de octubre de 2012
Verano	26 de enero de 2012	24 de enero de 2013
Otoño	26 de abril de 2012	
Histórico	26 de abril de 2012	30 de marzo de 1990

Fuente: elaboración propia y Araujo, 1991

Para caracterizar mejor las mediciones de los recorridos, se suele verificar y comparar cada campaña con las condiciones meteorológicas típicas de la ciudad y las situaciones sinópticas principalmente del área del Nordeste de Brasil donde se localiza la ciudad de Natal. Todas las informaciones meteorológicas y sinópticas se obtuvieron del Centro de Previsión del Tiempo y Estudios Climáticos e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales de Brasil (CPTEC/INPE) para las fechas de los transectos de los años de 2011, 2012 y 2013.

Los mapas de isotermas fueron elaborados a partir de los datos de las mediciones de los recorridos de campo con la técnica del análisis espacial de la interpolación con el método determinista, exacto y local, la media ponderada por el inverso distancia al cuadrado (Inverse Distance Weighting, IDW-PID) en el software ArcGIS 10.

La isla de calor urbana atmosférica (ICUA) se obtuvo como la diferencia de temperatura en cada punto con respecto de la mínima de la imagen (TSimagen - TSmin) con el *raster calculator* del módulo *Spatial Analyst Tools* del sistema de información geográfica ArcGIS 10. Así, habrá áreas con las temperaturas muy por encima de la mínima que son las áreas con temperatura atmosférica más calientes de la ciudad y que forman las ICUA y áreas con cero de valor, esto es, las áreas donde la temperatura es igual a la mínima, esto significa que no hay cambios en la temperatura atmosféricas y que forman las IFUA.

La clasificación de las ICUA fueron basadas en Fernández (1996) en: Débil cuando las diferencias oscilan entre 0°C y 2°C; Moderada entre 2°C y 4°C; Fuertes entre 4°C y 6°C y Muy

Fuerte cuando las diferencias son superiores a 6°C.

5.3. LA DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LAS ISLAS DE CALOR URBANAS ATMOSFÉRICAS (ICUA) DE NATAL

5.3.1. La isla de calor urbana atmosférica de Natal en Invierno

Día 11 de julio de 2011

1. *Condiciones meteorológicas.* En esta primera jornada la ciudad de Natal presentaba las siguientes condiciones meteorológicas: tiempo nuboso y 90% de probabilidad de lluvia de corta duración y acompañada de tormentas en cualquier momento del día, tiempo muy característico de este período del año. La temperatura mínima fue de 21°C y la máxima de 28°C, la salida del sol fue a las 05:32 horas y la puesta del sol a las 17:20 horas. El cielo cubierto de nubes contribuye a disminuir la circulación de los importantes vientos alisios que deja un aire fresco en la ciudad (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013).

2. *Situaciones sinópticas.* Las situaciones sinópticas del día 11/07/2011 presentaba la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) oscilando alrededor de 8°N a 9°N en el Atlántico por lo tanto influye la región. La situación de tiempo perturbado en la ciudad viene debido a la influencia del Anticiclón Subtropical del Atlántico Sur (ASAS) con el centro de alta presión de 1570mgp, sistema este que influye en el clima en gran parte del Brasil, favoreciendo el transporte de humedad desde el océano a la costa Este del Noreste de Brasil, así con el tiempo inestable en la zona las precipitaciones son significativas en la costa oriental del Estado del RN donde se localiza la ciudad de Natal (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013).

Día 11 de julio de 2012

1. *Condiciones meteorológicas.* Las condiciones meteorológicas de este día se presentaba con períodos cortos de sol intercalados con períodos de nubes y baja probabilidad de lluvia con 5%, las temperaturas, mínima de 22°C y la máxima de 28°C y la aparición del sol a las 05:32 horas y la puesta del sol a las 17:20 horas (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013).

2. *Situaciones sinópticas.* Las situaciones sinópticas de día 11/07/2012 con la ZCIT posicionada alrededor de 9°N a 7°N en el Atlántico por lo tanto sin influir la región. Por

consiguiente, el principal dominio sinóptico en este día estaba sobre influencia del Anticiclón Subtropical del Atlántico Sur (ASAS) que se centra alrededor de 42°S a 25°W y su circulación influye en gran parte del Este de Brasil. Esto promueve la circulación de los vientos del Este/Sureste que añaden humedad desde el océano y deja el cielo con nubes bajas y la condición de lluvia débil y aislada, especialmente en la costa (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013).

Resultados de los transectos de invierno, 11 de julio de 2011 y 11 de julio de 2012.

En la Figura 5.6 se presenta el gráfico con el resultado de los transectos para las islas de calor urbana atmosféricas de Natal (ICUA) en invierno. Las condiciones meteorológicas (Cuadro 5.5) de los dos días son semejantes, ambos días con tiempo nuboso y lluvias de corta duración y acompañada de tormentas durante todo el día. El gráfico muestra los valores más altos con la presencia de una isla de calor Moderada de 3,5°C en 2011 y una isla de calor Fuerte de 5,5°C en 2012. Como se ve, no hay un padrón bien establecido o marcado en el perfil térmico de los gráficos, al contrario, en estos gráficos están visibles muchas variaciones de la ICUA a lo largo del día y en los dos periodos. Pero, se observa que los puntos R1.7, R1.12 y R2.25, R2.26, R2.27 y R2.28 presentan valores muy altos de las islas de calor, se trata, de puntos localizados en barrios con grande densidad urbana y zonas comerciales. En destaque son los valores más altos de las islas en las tarde y mañanas y más bajos por las noches. Los datos completos de las ICUA de Invierno están en el Apéndice B, Tabla B1.

Cuadro 5.5 - Resumen de las condiciones meteorológicas de los transectos de Natal en invierno, 11 de julio de 2011 y 11 de julio de 2012

Fecha	Turno	Humedad (%)	Viento (m/s)	Tmin (°C)	Tmax (°C)
11/07/2011	Mañana	71	1,55	26,5	31
	Tarde	66	2,43	27	32
	Noche	76	0,7	25,5	28,5
11/07/2012	Mañana	66		25	33,5
	Tarde	64	1,56	24	38,5
	Noche	73	1,74	23	27,5

Fuente: elaboración propia.

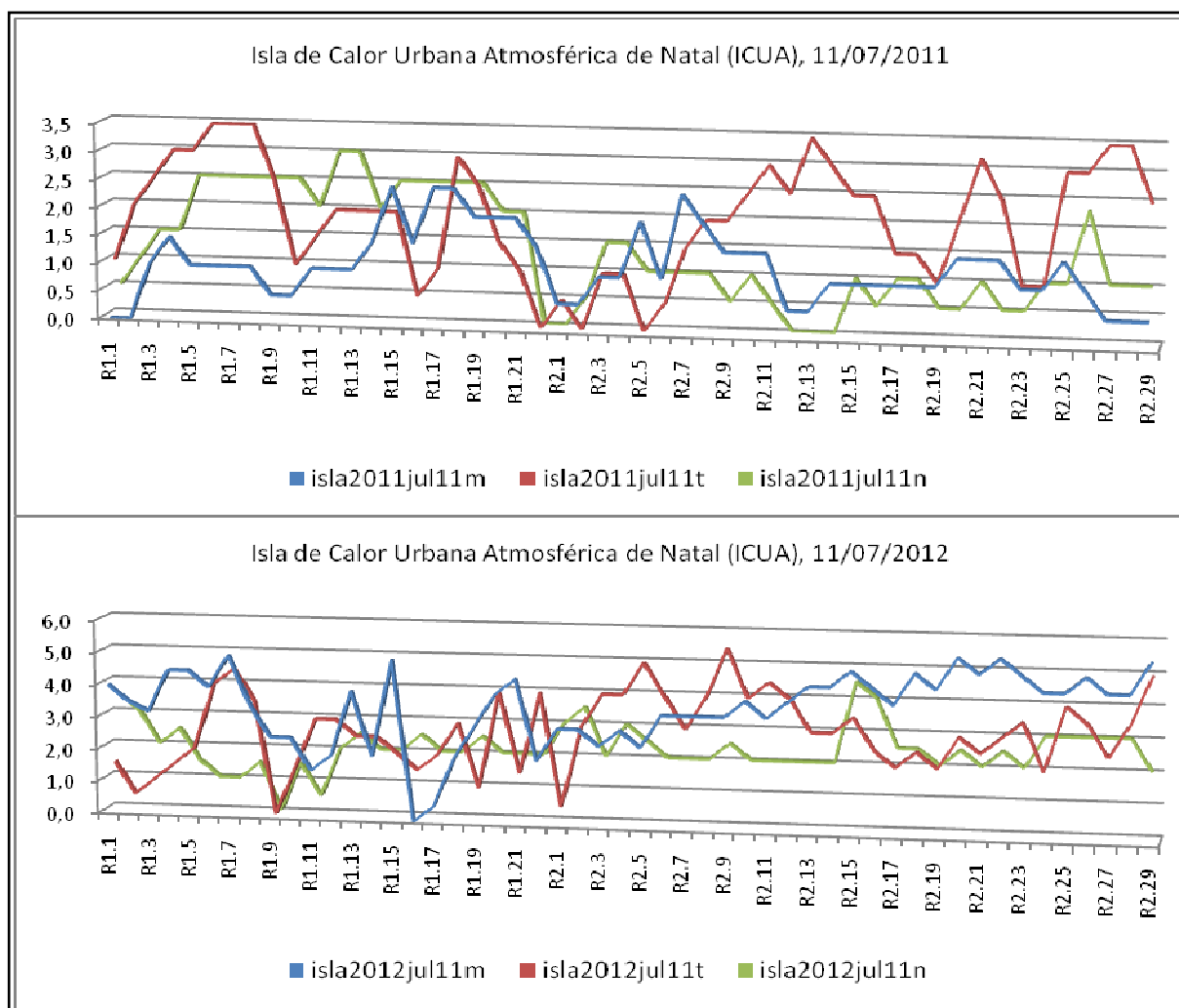


Figura 5.6. Islas de Calor Urbana Atmosféricas de Natal (ICUA) de invierno. Fuente: elaboración propia

La distribución espacial de las temperaturas del día 11 de julio de 2011, transecto mañana, tarde y noche

Las temperaturas atmosféricas (TA) de los transectos del día 11/07/2011 en el período de la mañana están reflejadas en la Figura 5.7. La amplitud térmica de 4,5°C entre las isothermas que muestran las distribuciones de las isothermas con una cierta uniformidad de las temperaturas en tres áreas distintas siendo dos más frescas y una caliente, las más frescas en la zona Norte reflejo del espacio rural muy cercano y al Este y Sur como reflejo del Parque de las Dunas ya la más cálida al Oeste con un núcleo de 30°C.

Las temperaturas atmosféricas (TA) de la tarde están reflejadas en la Figura 5.7. Las isothermas presentan una amplitud térmica de 5°C y con una configuración polinuclear con tres núcleos de temperaturas más cálidas en el Centro, Sur y Norte de la ciudad. Los dos puntos

más calientes R2.27 y R2.29 están localizados en el barrio central, junto a edificios altos y los puntos más cálidos de la zona Norte y Sur también son áreas muy urbanizadas y con poca área verde, donde los valores que oscilan entre 30°C a 32°C. La zona Oeste es el área más fresca, especialmente en el punto R2.6 y su entorno localizados en la orilla del río Potengi un área húmeda y de vegetación natural de manglares, también los puntos R1.1 y R2.1 localizados en una pequeña área verde en el Centro de la ciudad, en ambos casos con temperaturas entre 27°C y 28°C.

Las temperaturas atmosféricas (TA) de la noche están reflejadas en la Figura 5.7. Las isotermas presentan una baja amplitud térmica de 3°C y con las temperaturas más cálidas en el Centro, zona Oeste y principalmente en la zona Sur de la ciudad que es el área más urbanizada de la ciudad. Las temperaturas más bajas están en parte del Centro y Este influido por el Parque de las Dunas y en toda la zona Norte de la ciudad área urbanizada donde predominan viviendas bajas con jardín contiguo a las casas.

La distribución espacial de las temperaturas del día 11 de julio de 2012, mañana, tarde y noche

Las temperaturas atmosféricas (TA) de los transectos del día 11 de julio de 2012 en el período de la mañana están reflejadas en la Figura 5.8. Con una amplitud térmica muy grande de 8,5°C entre las isotermas, donde en el período de la mañana las zonas más frías están al Oeste, Noroeste y Sur y la zona más cálida al Sur y con los puntos R1.10 y R1.11 alrededor de 33°C, hay que destacar el punto R1.11 que está cerca del paredón de edificios de la playa de Ponta Negra además R2.16 y R2.26 en la zona Norte.

Las temperaturas atmosféricas (TA) de la tarde están en la Figura 5.8. Las isotermas tienen una amplitud muy grande de 14°C con las zonas más cálida en el Centro y zona Norte de la ciudad en especial los puntos R2.7, R2.9 y R2.10 donde las temperaturas oscilaron entre 32°C a 38°C en un área muy urbanizada. Las zonas de temperaturas más frescas al Sur y Oeste contribuyen en este sector con el flujo de los predominantes vientos alisios de Sureste.

Las temperaturas atmosféricas (TA) de la noche están reflejadas en la Figura 5.8. Las isotermas presentan una amplitud térmica de 4,5°C y con las temperaturas más cálidas en el Centro de la ciudad, hecho este muy influido por ser un área densamente urbanizada y con edificios altos. Las temperaturas más bajas están en las zonas Sur, Oeste y Norte de la ciudad que aun estando muy urbanizadas aún tienen en su mayor parte la presencia de edificios hasta 4 pisos y con jardines con árboles.

Comparación de los transectos de 11 de julio 2011 y 11 de julio 2012

Mañana. El análisis comparativo de las temperaturas atmosféricas (TA) de las Figuras 5.7 y 5.8 muestran primero que las condiciones de lluvias son distintas entre estos dos días: el 11 de julio de 2011 presentó un tiempo con muchas lluvias durante todo el día, al contrario del 11 de julio de 2012 con poca lluvia. Los vientos son otro condicionante que influyó en las temperaturas más bajas en estos períodos. Pero en general entre estos dos períodos de la mañana hay una cierta uniformidad de las temperaturas con un rango entre 22,5°C a 29°C. Las zonas con las temperaturas más cálidas de la ciudad en el período de las mañanas para el mes de julio son al Oeste, Norte y Centro de la ciudad con temperaturas oscilando entre 27°C a 29°C. Las zonas con las temperaturas más frías son Este y a los extremo Norte y Sur de la ciudad oscilando entre 22,5°C y 26°C. Para las temperaturas más frescas la presencia de las grandes áreas verdes son determinantes en la ciudad, que son el Parque de las Dunas al Este y las cercanías de las zonas rurales a la ciudad que proporcionan el efecto de la disminución de temperaturas en estos lugares.

Tardes. El análisis comparativo de las temperaturas atmosféricas (TA) de las Figuras 5.7 y 5.8 del período de las tardes muestra la presencia de una distribución polinuclear de las temperaturas con un rango entre 26°C a 31,5°C. Las áreas más calientes en el período de la tarde son el Centro, zona Norte y Sur de la ciudad con temperaturas oscilando entre 30°C a 31,5°C, reflejo de la de áreas densamente ocupadas por edificios altos, bajos y asfalto y tráfico intenso. Las zonas con las temperaturas más frescas están presentes al Este y en los extremos Norte y Sur de la ciudad, con excepción de una gran área más fresca en las orillas del río Potengi (Figura 5.3) con temperaturas oscilando entre 26°C a 28°C.

Noche. El análisis comparativo de las temperaturas atmosféricas (TA) de las Figura 5.7 y Figura 5.8 del período de las noches se encuentran con un rango de temperaturas entre 21°C y 28,5°C asimismo discordante con relación a las distribuciones de las isotermas. Las zonas con las temperaturas más cálidas en los dos casos están en el Centro pero cambia de posición entre la Figura 5.5 al Norte y en la Figura 5.6 al Sur y las temperaturas oscilan entre 25°C a 28,5°C. Las áreas con las temperaturas más frías están al Norte, Este y Sur con temperaturas entre 21°C a 25°C. Es importante señalar que este período es de pleno mes de invierno, de tiempo inestable con lluvias y tormentas en cualquier período del día, por lo tanto, la Figura 5.5 fue con tiempo perturbado y la Figura 5.6 fue con un día menos perturbado.

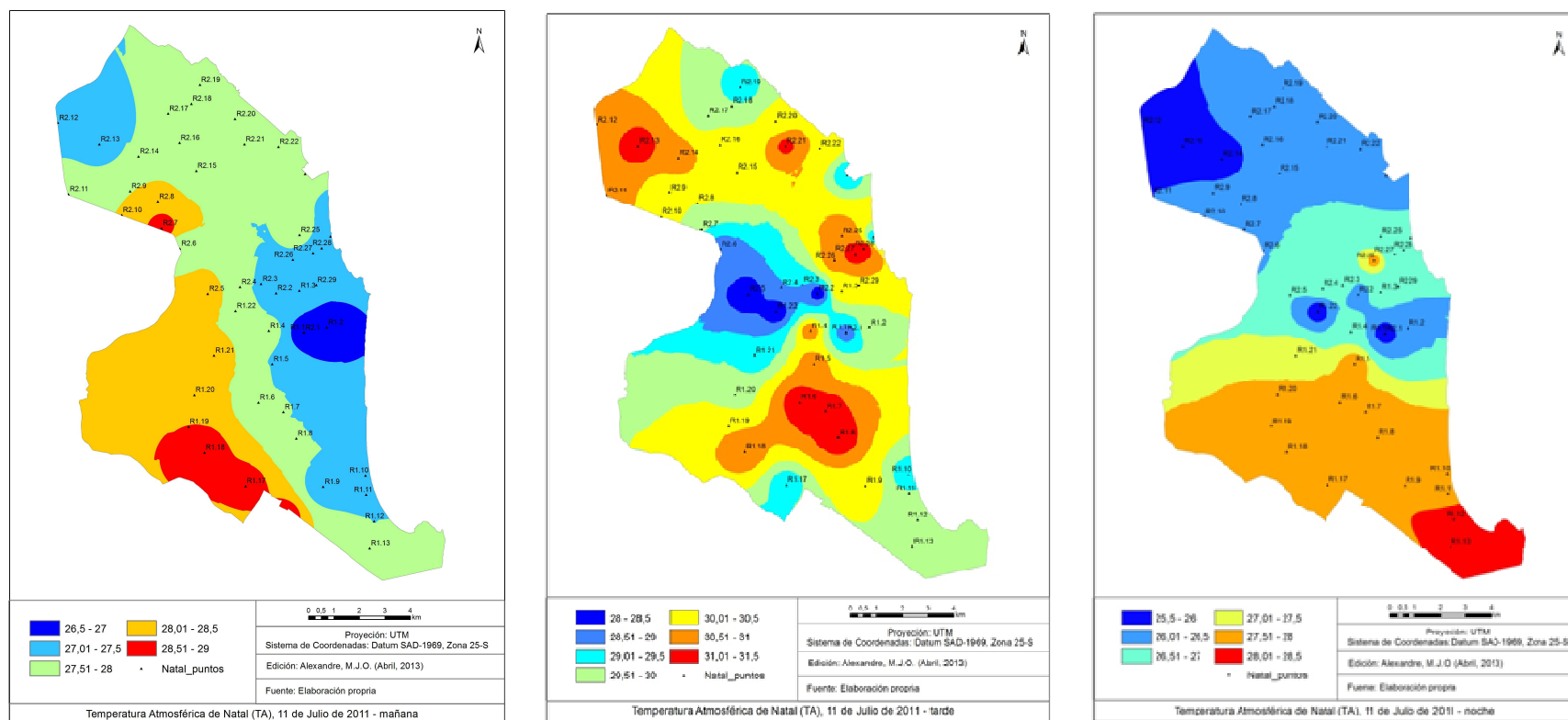


Figura 5.7. Mapa de las Temperaturas Atmosférica de Natal (TA), 11 de julio de 2011, mañana, tarde y noche.

Fuente: elaboración propia

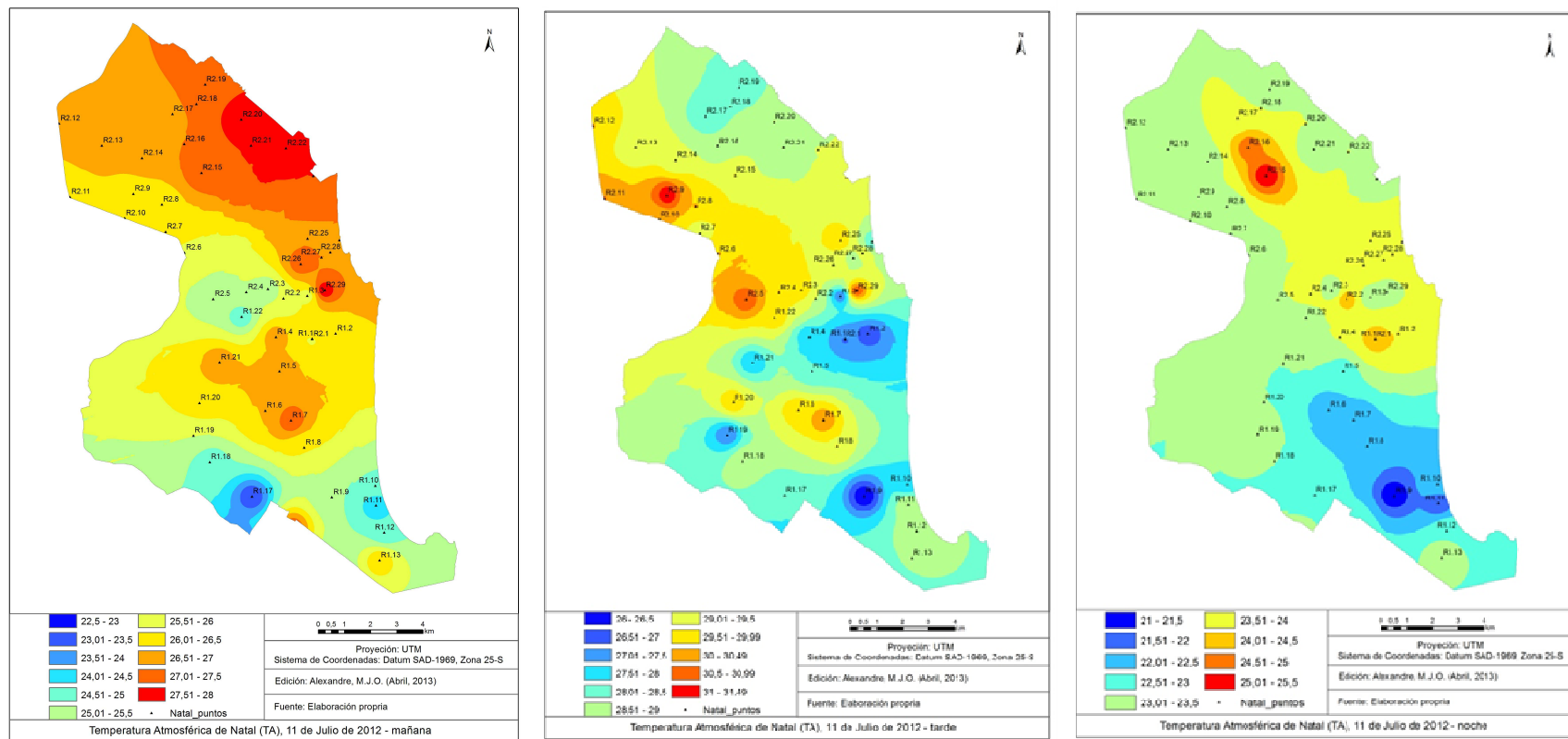


Figura 5.8. Mapa de la Temperatura atmosférica de Natal (TA), 11 de julio de 2012, mañana, tarde y noche.
Fuente: elaboración propia

Los patrones de distribución espacial de la Isla de calor urbana atmosférica (ICUA) de Natal en invierno

En invierno, las islas de calor y frescor urbanas atmosféricas de Natal (ICUA (IFUA) del día 11 de julio de 2011 están representadas en la Figura 5.9, ambas en el período de invierno que son los meses típicos de lluvias y con las temperaturas un poco más bajas en la ciudad. En La Figura 5.9 parte de la mañana hay una isla Moderada en la zona Oeste y Norte clasificada como Moderada con valores entre 2°C a 3 °C, por la tarde son intensas las ICUA en la zona Sur, Norte y Centro también clasificada como Moderada entre 2°C a 3,5 °C y por la noche en el Centro, zona Sur y Oeste clasificada como Moderada entre 2°C a 3°C. En la Figura 5.10 mañana las ICUA más intensas son en el Centro, zona Norte y Sur clasificada como Fuertes y valores entre 4°C a 5,5°C. Por las tardes repite las misma situación de la mañana pero en la zona Norte con un cambio del oriente al occidente. Por la noche más intensa en el Centro y zona Norte clasificada como Fuerte entre 4°C y 4,5°C.

Las intensidades máximas de la ICUA de julio de 2011/2012 son por las tardes con 3,5°C y 5,5°C respectivamente, clasificadas entre Moderadas y Fuertes. Las ICUA son de formación polinuclear con tres núcleos más cálidos distintos, en la zona Norte, Centro y Sur de la ciudad.

Los dos valores puntuales registrados la mayor diferencia de temperatura están en los puntos centrales de la ciudad (R2.25, 26, 27 y 28) localizados en un barrio muy comercial, densamente poblado, con mucho asfalto y muy poca área verde. En la zona Norte alrededor del punto R2.11 área con una mezcla de área comercial e industrial, muy poblada y con poca área verde y al Sur alrededor del punto R1.7, igualmente área muy comercial (con dos grandes centros comerciales), con alta densidad poblacional, mucho asfalto y poca área verde.

Las áreas con la presencia de IFUA en el período invernal (de las lluvias) principalmente en las zona Este y Sur de la ciudad en el período de la mañana y noche. Al Este como se puede ver en la Figura 5.25 está muy concentrada debido la presencia del Parque de las Dunas y en la zona Norte por la proximidad del área rural. Esta misma situación térmica de las IFUA se repite prácticamente en la Figura 5.26 donde hay una gran influencia del citado parque resultando en una bajada de las temperaturas en toda la zona Sur de la ciudad.

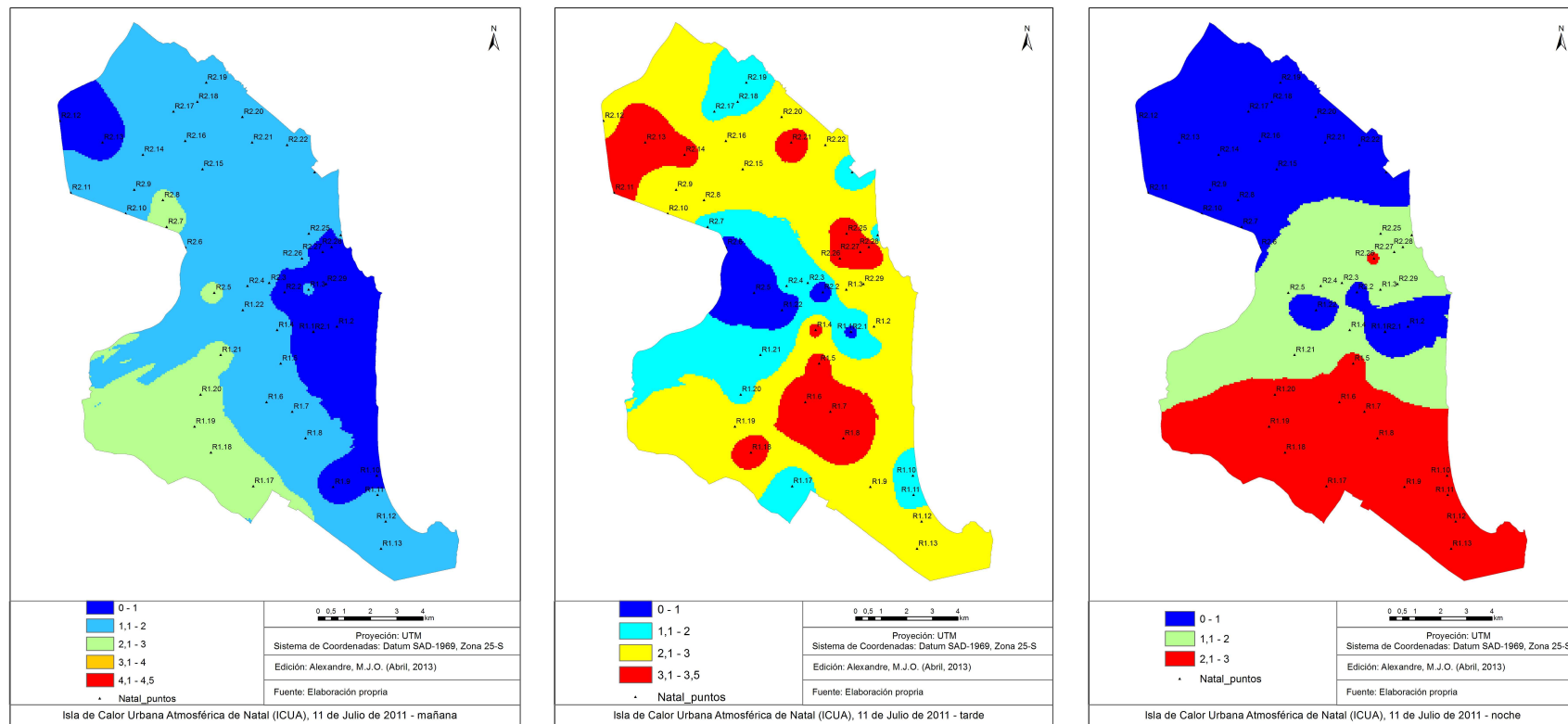


Figura 5.9. Mapas de las Isla de Calor Urbana Atmosférica de Natal (ICUA), 11 de julio de 2011, mañana, tarde y noche.
Fuente: elaboración propia

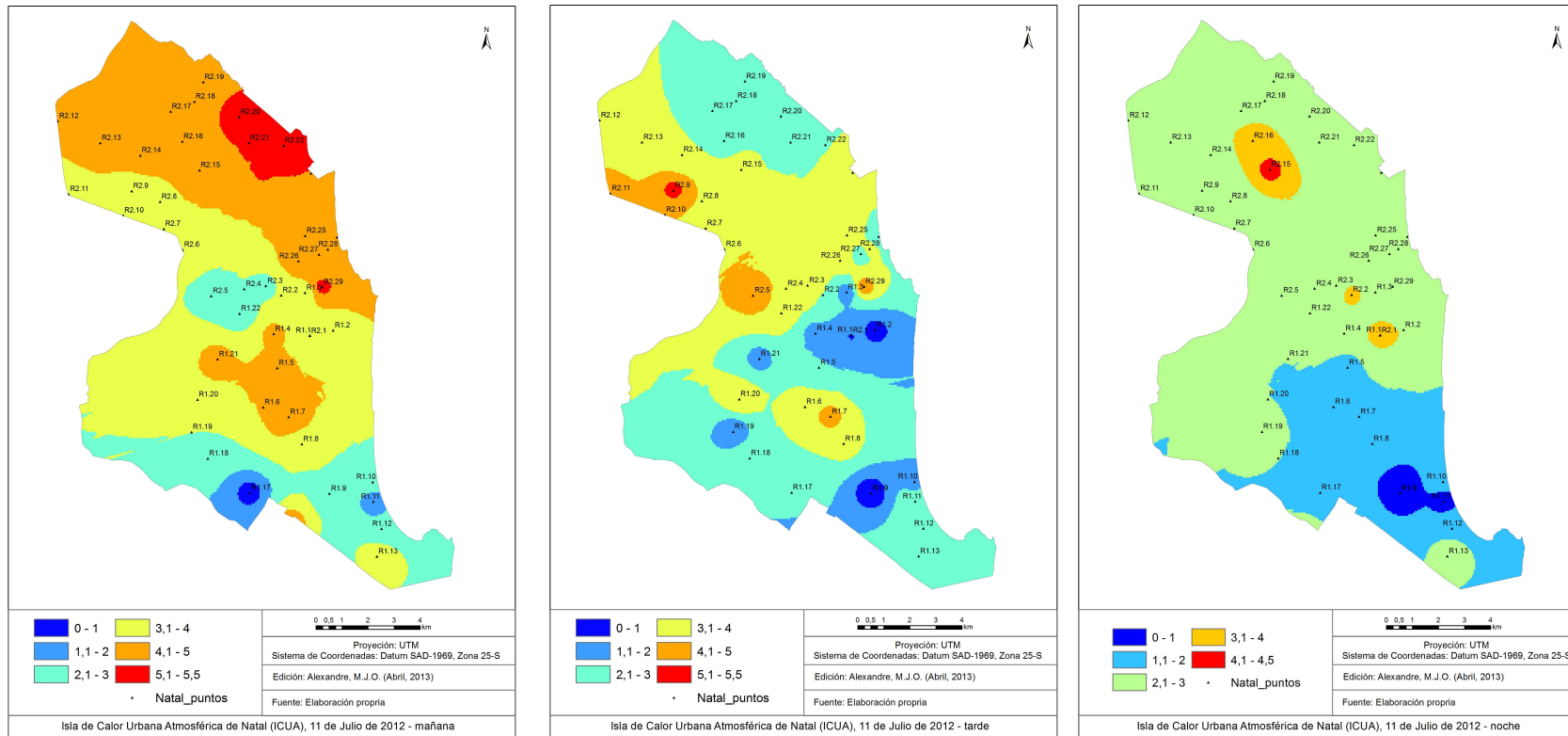


Figura 5.10. Mapas de las Isla de Calor Urbana Atmosférica de Natal (ICUA), 11 de julio de 2012, mañana, tarde y noche.
Fuente: elaboración propia

5.3.2. La isla de calor urbana atmosférica de Natal en Primavera

Día 6 de octubre de 2011

1. Condiciones meteorológicas. La ciudad de Natal presentaba en el día 6 de octubre de 2011 las siguientes condiciones meteorológicas, sol en la mayor parte del período y 5% de probabilidad de lluvia, la temperatura mínima de 22°C y la máxima de 30°C, la salida del sol a las 05:03:41 horas y la puesta del sol a las 17:14:25 horas. El cielo despejado y tiempo seco es un tiempo muy característico de este período del año en la ciudad. (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013).

2. Situaciones sinópticas. Las situaciones sinópticas del día 06/10/2011 muestra la ZCIT con su posición entre 6°N a 9°N en el Atlántico. El Anticiclón Subtropical del Atlántico Sur (ASAS) contribuye con advección del aire marítimo sobre la costa este del Brasil, a través de los vientos de este/sudeste. En las zonas del Norte y el Noreste del país hay poca probabilidad de lluvia. (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013).

Día 24 de octubre de 2012

1. Condiciones meteorológicas. La ciudad de Natal presentaba en el día 24 de octubre de 2012 las siguientes condiciones meteorológicas, parcialmente nublado con sol entre pocas nubes y 5% de probabilidad de lluvia débil, la temperatura mínima de 23°C y la máxima de 30°C, la salida del sol a las 04:56:38 horas y la puesta del sol a las 17:13:23 horas. El cielo despejado y tiempo seco es un tiempo muy característico de este período del año en la ciudad. (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013).

2. Situaciones sinópticas. Las situaciones sinópticas del día 24/10/2012 muestra la ZCIT oscilando alrededor de 8°N a 10°N en el Atlántico. El Anticiclón Subtropical del Atlántico Sur (ASAS), actúa sobre gran parte del Brasil. En la costa Este del Noreste de Brasil favorece el levantamiento del aire y la formación de nubosidad en esta área asociado con el sistema frontal que se mueve hacia la costa Noreste provoca muchas nubosidad y con lluvia estratiforme (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013).

Resultados de los transectos de primavera, 6 de octubre de 2011 y 24 de octubre de 2012.

En la Figura 5.11 se presenta el gráfico con el resultado de los transectos para las islas de calor urbana atmosféricas de Natal (ICUA) de primavera. Las condiciones meteorológicas (Cuadro 5.6) de los dos días son semejantes, ambos con tiempo parcialmente nublado con sol y baja probabilidad de lluvia. En el gráfico se muestran los valores extremos con la presencia de una isla de calor Fuerte de 4,5°C en 2011 y una isla de Muy Fuerte de 11,5°C en 2012. No hay un padrón bien establecido o marcado en el perfil térmico de los gráficos, están visibles muchas variaciones de la ICUA a lo largo del día y en los dos periodos. Los puntos con mayores valores de las islas de calor son R2.4, R2.5, R2.26, R2.27, son puntos localizados en barrios con grande densidad urbana y zonas comerciales. En destaque son los valores más altos de las islas en las tarde y mañanas y más bajos por las noches. Los datos completos de las ICUA de Invierno están en el Apéndice B, Tabla B2.

Cuadro 5.6 - Resumen de las condiciones meteorológicas de los transectos de Natal en primavera, 6 de octubre de 2011 y 24 de octubre de 2012

Fecha	Turno	Humedad (%)	Viento (m/s)	Tmin (°C)	Tmax (°C)
06/10/2011	Mañana	60	2,19	25,6	32,2
	Tarde	50	4,81	25,5	33
	Noche	69,5	1,51	23	26,5
24/10/2012	Mañana	70	2,75	22,5	32
	Tarde	61	3,4	27,5	39
	Noche	68	0,4	25,5	27,5

Fuente: Elaboración propia.

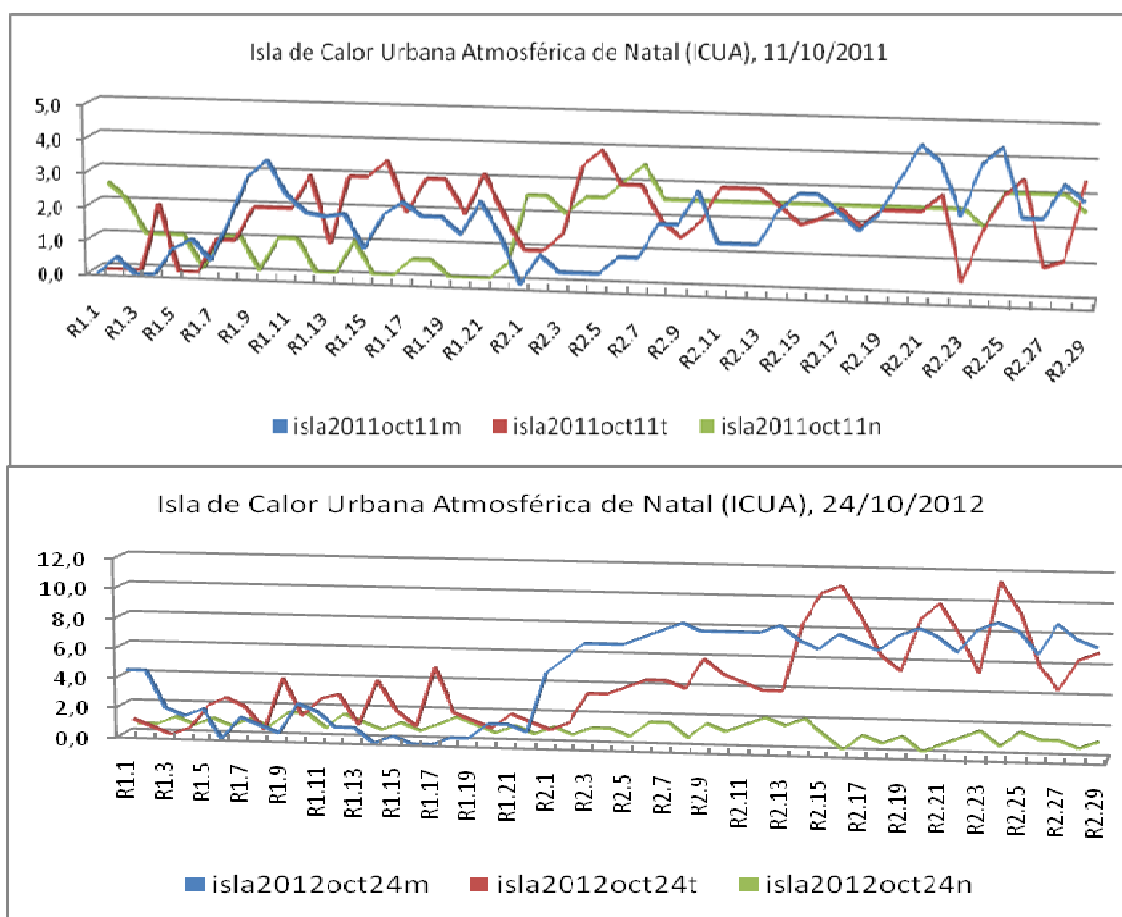


Figura 5.11. Islas de Calor Urbana Atmosféricas de Natal (ICUA) de otoño. Fuente: elaboración propia

La distribución espacial de las temperaturas del día 6 de octubre de 2011, transecto mañana, tarde y noche

Las temperaturas atmosféricas (TA) de los transectos del día 06/10/2011 en el período de la mañana están reflejadas en la Figura 5.12. La amplitud térmica de 6,6°C entre las isothermas y con las temperaturas más cálidas en el Oeste, Centro y principalmente en el Noreste de la ciudad con núcleos en los puntos R1.21, R2.25 y R2.22 con temperaturas entre 31°C a 32°C. Las áreas más frescas son un reflejo principalmente del Parque de las Dunas al extenderse en un corredor entre la zona Sur a la zona Norte de la ciudad.

Las temperaturas atmosféricas (TA) de los transectos del período de la tarde (Figura 5.12). Las isothermas presentan una amplitud térmica de 7,5°C y con una configuración polinuclear con tres núcleos de temperaturas más cálidas en el Centro, Sur y Norte de la ciudad. Hay que destacar los dos puntos más cálidos en el área central de la ciudad (R2.4, R2.5, R2.26 y R2.29) localizados junto a edificios altos en zonas

muy urbanizadas y con poca área verde y los valores que oscilan entre 31°C a 33°C. El área más fresca está al Este es justamente el área que comprende el Parque de las Dunas en especial el punto R1.2 localizado dentro de este parque y con las con temperaturas entre 26°C y 28°C.

Las temperaturas atmosféricas (TA) del período de la noche (Figura 5.12). La amplitud térmica de 3,5°C entre las isotermas y con las temperaturas más cálidas en el Centro en los puntos R2.25, R2.26, R2.27 y R2.28 con temperaturas oscilando entre 25°C y 26,5°C y en toda la zona Norte de la ciudad pero en especial los puntos R2.6 y R2.7. Las áreas más frescas son las zonas Sur y Oeste principalmente en los puntos cerca del Parque de la Ciudad al Oeste y de las áreas verdes de Ponta Negra al Sur.

La distribución espacial de las temperaturas del día 24 de octubre de 2012, transecto mañana, tarde y noche

Las temperaturas atmosféricas (TA) de los transectos del día 24/10/2012 en el período de la mañana están reflejadas en la Figura 5.13. La amplitud térmica muy alta de 9,5°C entre las isotermas. Es especial la abrupta división de las temperaturas entre el Centro y zona Norte más cálidos y el Sur y Oeste más frescos. Es de destacar las temperaturas más cálidas entre 30°C a 32°C en prácticamente toda la zona Norte y las temperaturas más frescas entre 22°C a 27°C en toda la zonas Sur y Oeste.

Las temperaturas atmosféricas (TA) de los transectos del período de la tarde (Figura 5.13). Las isotermas presentan una amplitud térmica de 11,5°C y con una configuración polinuclear con dos núcleos de temperaturas más cálidas en el Centro con los dos puntos más calientes R2.25 y R2.28 y en la zona Norte de la ciudad en los puntos R2.15, R2.16 y R2.21. El preocupante dato que destaca es el de las temperaturas en estos puntos oscilando entre increíbles 37°C a 39°C. Al contrario las zonas más frescas al Sur y Oeste, pero con temperaturas oscilando entre 27°C a 31°C. En especial los puntos R1.2, R1.8 próximos al Parque de las Dunas, punto R1.13 próximo a área verde de Ponta Negra y el punto R1.20 próximo al Parque de la Ciudad, en todos está el reflejo de las importantes áreas verdes naturales.

Las temperaturas atmosféricas (TA) de los transectos de la noche (Figura 5.13). Presenta una baja amplitud térmica de 2,0°C entre las isotermas y con una configuración polinuclear en el Centro, Sur, Oeste y al Norte donde las temperaturas oscilan alrededor de los 27°C. Las áreas más frescas son un reflejo principalmente del

Parque de las Dunas al extenderse en un desplazamiento entre la zona Este a la zona Oeste de la ciudad y al Noreste por la proximidad con el área rural con temperaturas oscilando entre 25,5°C a 26°C.

Comparación de las isotermas de 6 de octubre de 2011 y 24 de octubre de 2012, Mañanas. El análisis comparativo de las temperaturas atmosféricas (TA) de las Figuras 5.12 y 5.13 del período de las mañanas se encuentra en concordancia con las isotermas oscilando entre 23°C a 32°C. Las áreas con temperaturas más calientes son el Centro y la zona Norte y una pequeña área en la zona Sur y las temperaturas con una variación entre 29°C a 32°C, eso muestra que el rango de las temperaturas entre los dos períodos son muy semejantes en las máximas. Las áreas con las temperaturas más frescas son al Este, Sur y Oeste con una variación de temperaturas entre 23°C a 27,5°C. De hecho, la principal característica de este período (octubre hasta diciembre) es que se muestra en general con tiempo muy despejado y seco, sin lluvias.

Tardes. La comparación las temperaturas atmosféricas (TA) del período de las tardes entre los meses de octubre (Figura 5.12 y Figura 5.13) muestran un dato revelador y preocupante, que es el incremento de las temperaturas más altas con un rango entre 27,5°C hasta 39°C. Las zonas más cálidas aparecen en Centro, zona Norte y Oeste de la ciudad con temperaturas entre 30°C a 39°C, en especial los puntos a lo largo del Centro y zona Norte. Las áreas más frescas se quedan al Este y Sur y parte del Oeste (Figura 5.13) con las temperaturas oscilando entre 27,5°C a 29°C. La situación no es más crítica debido a la actuación de los vientos alisios muy frecuentes en el período de las tardes y la cercanía de las áreas verdes naturales que suponen un refrigerio térmico para la ciudad en este período.

Noches. El análisis comparativo de las temperaturas atmosféricas (TA) del período de las noches (Figura 5.12 y Figura 5.13) muestran las isotermas con temperaturas oscilando entre 23°C a 27,5°C con una amplitud térmica de 4,5°C casi tres veces menos que el período diurno. Las zonas que presentan temperaturas más calientes son las zonas Norte y el Centro con temperaturas oscilando entre 26°C a 27,5°C. Las temperaturas más frías principalmente en la zona Oeste y Sur con temperaturas entre 23°C y 25,5°C. De hecho, la principal característica de las figuras en este período son las bajas amplitudes térmicas y la presencia de temperaturas más altas en el Centro de la ciudad.

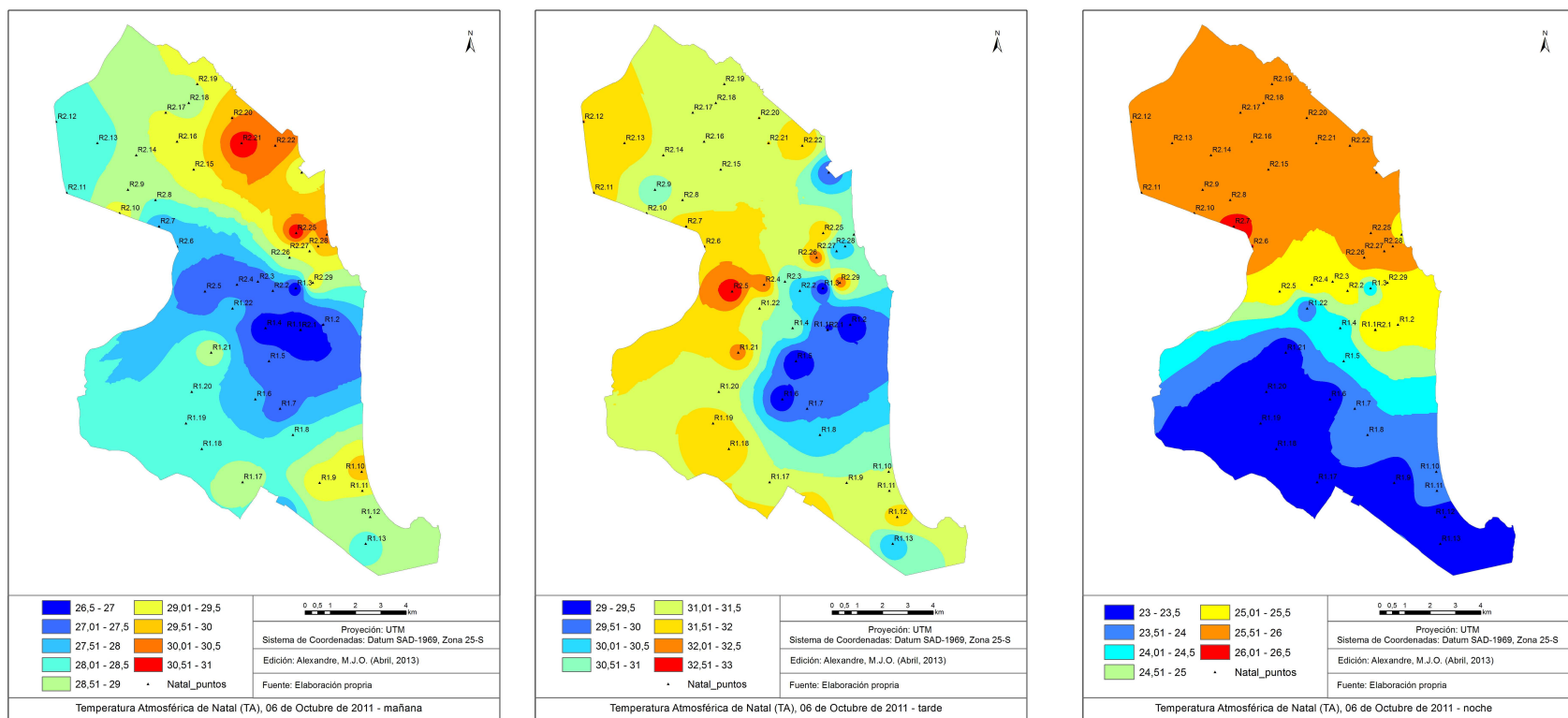


Figura 5.12. Mapa de la Temperatura atmosférica de Natal (TA), 6 de octubre de 2011, mañana, tarde y noche.

Fuente: elaboración propia

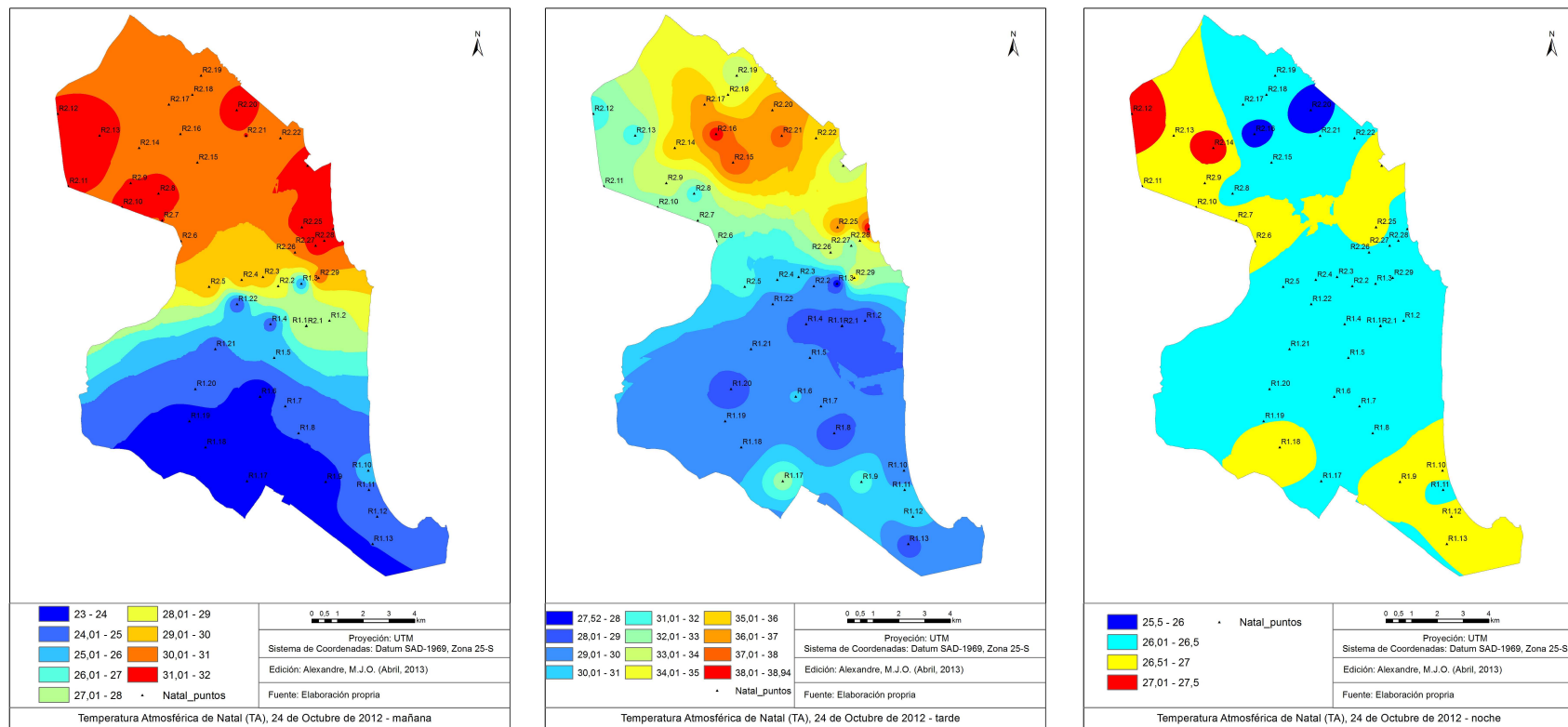


Figura 5.13. Mapa de la Temperatura atmosférica de Natal (TA), 24 de octubre de 2012, mañana, tarde y noche.

Fuente: elaboración propia.

Los patrones de distribución espacial de la Isla de calor urbana atmosférica (ICUA) de Natal en primavera

En primavera, las ICUA y las IFUA de Natal del día 6 de octubre de 2011 están representadas en la Figura 5.14 y del día 24 de octubre de 2012 en la Figura 5.15, ambas en el período de primavera que son los meses de sequía y con las temperaturas cálidas y en ascensión en la ciudad. Las intensidades máximas de las ICUA de octubre de 2011/2012 son por las tardes con 4°C y 11,4°C respectivamente clasificadas entre fuertes y muy fuertes y por las mañanas con 4,5°C y 9° respectivamente y también clasificadas entre fuertes y muy fuertes.

Las ICUA de primavera se presentan en general con formación polinuclear con dos núcleos más cálidos, en el Centro de la ciudad y en la zona Norte. En la Figura 5.14 (tarde) los puntos de mayor temperatura son R2.26 y R2.29 y alrededor de los puntos R2.4 y R2.5 todos localizados en los barrios centrales que forman una zona muy comercial, asfaltada, con edificios altos y de intenso tráfico. En la Figura 5.14 (tarde) los puntos R2.15 y R2.16 son los puntos de mayor temperatura ambos localizados justamente en el centro de la zona Norte de la ciudad, en barrio muy poblado pero de edificios bajos y calles anchas y con árboles, de igual forma también hay otra isla presente en el Centro de la ciudad. En la Figura 5.14 se verifica por las mañanas la presencia de una ICUA entre el Centro y la zona Norte de la ciudad y en la Figura 5.15 (mañana) se puede ver la presencia de una gran ICUA entre el Centro de la ciudad y toda la zona Norte que está formada por una mezcla de barrios industriales (R2.10, R2.11 y R2.12) muy comerciales (R2.10), y las demás áreas son muy pobladas, con poca área verde y algunas plazas con áreas verdes.

Las áreas con la presencia de IFUA están bien representadas en este período primaveral principalmente en la zona Este y Sur de la ciudad. En la Figura 5.14 como se puede ver muy concentrada por la mañana y tarde, consecuencia de la presencia del Parque de las Dunas al Este. Esta misma situación térmica de las IFUA se repite prácticamente en la Figura 5.15 donde hay una gran influencia del parque que provoca una bajada de las temperaturas en toda la zona Sur y Este de la ciudad. Hay que destacar que, excepto la presencia de las grandes áreas verdes de la ciudad en la zona Sur, las demás áreas son muy urbanas, densamente ocupadas entre edificios bajos y altos, grandes centros comerciales y supermercados, muy asfaltadas y con pocas plazas de

áreas verdes. Así, en la zona Este y Sur el verde se concentra básicamente en los grandes parques urbanos.

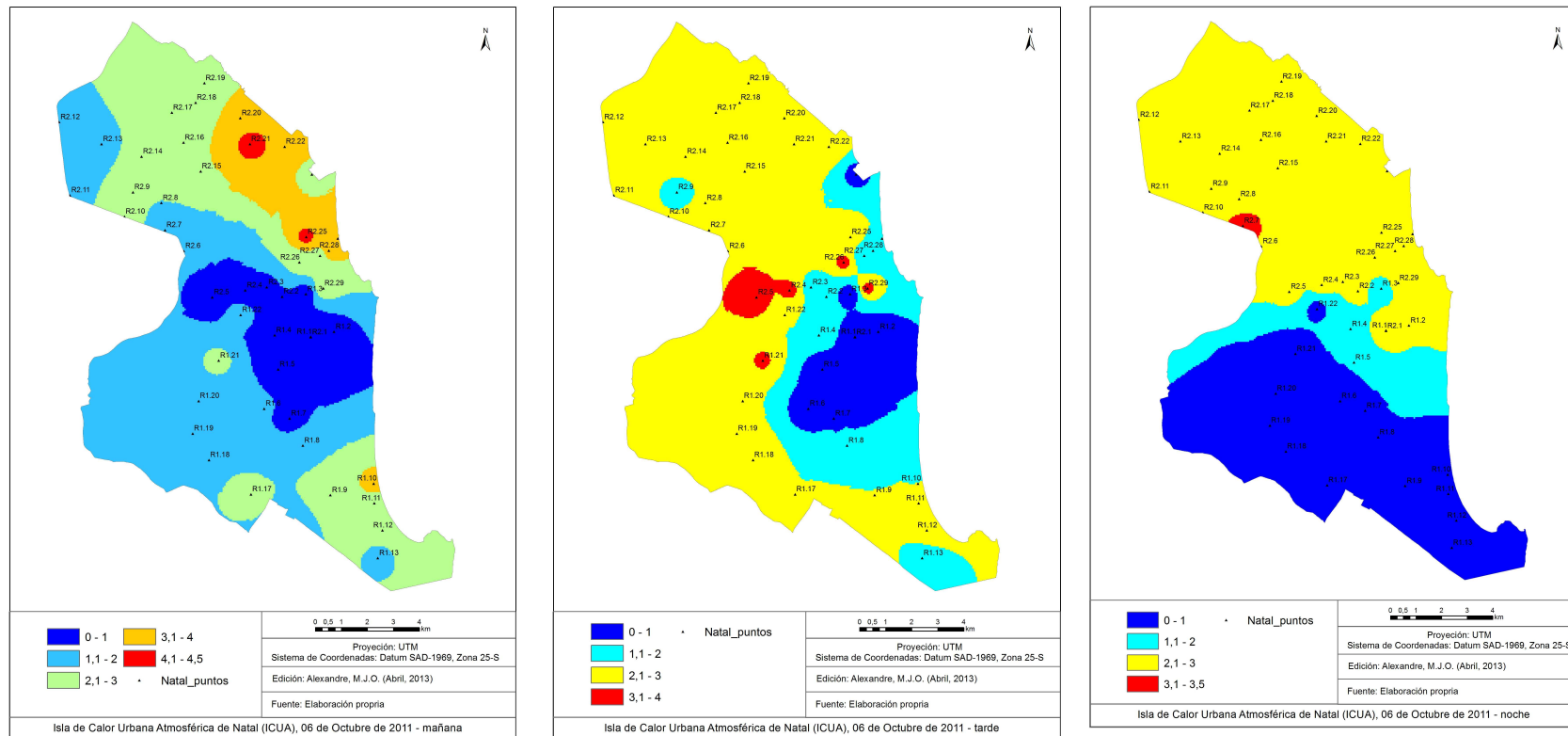


Figura 5.14. Mapas de las Isla de calor urbana atmosférica de Natal (ICUA), 6 de octubre de 2011, mañana, tarde y noche.
Fuente: elaboración propia

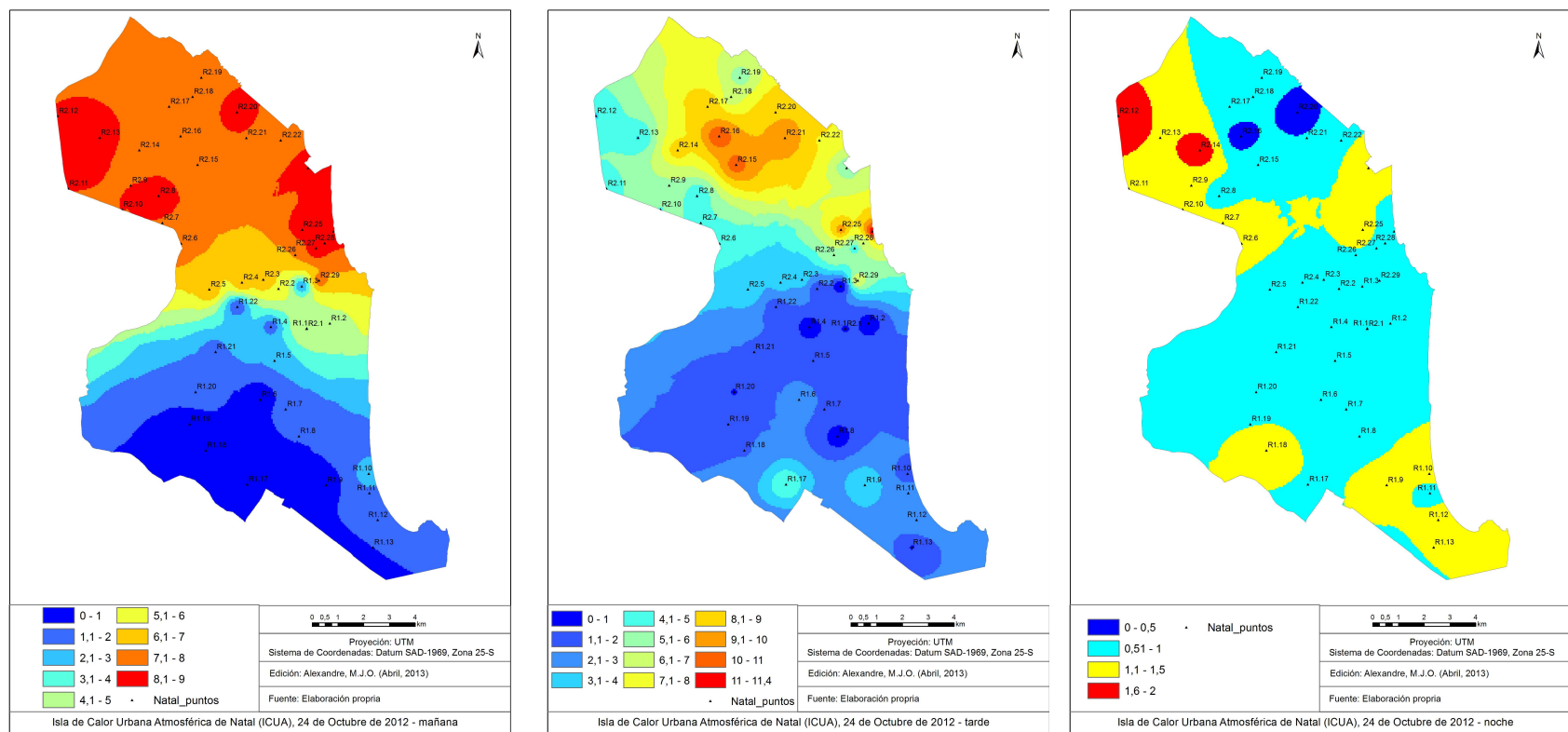


Figura 5.15. Mapas de las islas de calor urbana atmosféricas de Natal (ICUA), 24 de octubre de 2012, mañana, tarde y noche.
Fuente: elaboración propia.

5.3.3. La isla de calor urbana atmosférica de Natal en Verano

Día 26 de enero de 2012

1. Condiciones meteorológicas. La ciudad de Natal presentaba en el día 26 de enero de 2012 las siguientes condiciones meteorológicas, sol entre unas pocas nubes en todo el período y 5% de probabilidad de lluvia, la temperatura mínima de 25°C y la máxima de 30°C, la salida del sol a las 05:21:57 horas y la puesta del sol a las 17:44:52 horas. El cielo despejado y tiempo seco es un tiempo muy característico de este período del año en la ciudad. (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013).

2. Situaciones sinópticas. Las situaciones sinópticas del día 26/01/2012 muestra la ZCIT posicionada entre 3°N a 4°N sobre el Atlántico. El hecho sinóptico principal en este día se trata del dominio del Vórtice Ciclónico de Altos Niveles (VCAN) actuando sobre el Noreste brasileño promoviendo zona de alta presión con pocas nubes y cielos despejados (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013).

Día 24 de enero de 2013

1. Condiciones meteorológicas. La ciudad de Natal presentaba en el día 24 de enero de 2013 las siguientes condiciones meteorológicas, parcialmente nublado con sol entre pocas nubes en todo el período y 5% de probabilidad de lluvia, la temperatura mínima de 25°C y la máxima de 31°C, la salida del sol a las 05:21:16 horas y la puesta del sol a las 17:44:39 horas. El cielo despejado y tiempo seco es un tiempo muy característico de este período del año en la ciudad. (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013).

2. Situaciones sinópticas. Las situaciones sinópticas del día 24/01/2013 muestra la ZCIT posicionada entre 3°N a 1°N sobre el Atlántico. El hecho sinóptico principal son los vientos de noreste que predominan con flujo medio y esta condición provoca tiempo más seco en el sector de la costa Este del Nordeste de Brasil con pocas nubes y cielos despejados (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013).

Resultados de los transectos de primavera, 26 de enero de 2012 y 24 de enero de 2013.

En la Figura 5.16 se presenta el gráfico con el resultado de los transectos para las islas de calor urbana atmosféricas de Natal (ICUA) de invierno. Las condiciones meteorológicas (Cuadro 5.7) de los dos días son semejantes, ambos presenta tiempo con

sol, parcialmente nublado y sin lluvia. En el gráfico se muestran los valores extremos con la presencia de una isla de calor Fuerte de 5°C en 2012 y una isla de Muy Fuerte de 7,9°C en 2013. Los gráficos no presentan un padrón bien establecido o marcado en el perfil térmico, están visibles muchas variaciones de la ICUA a lo largo del día y en los dos periodos. Los puntos con mayores valores de las islas de calor son R1.6, R1.8, R1.9 y R2.21, R2.27, R2.28 y R2.29 son puntos localizados en barrios con grande densidad urbana y zonas comerciales. En destaque son los valores más altos de las islas en las tarde y noches y más bajos por las mañanas. Los datos completos de las ICUA de Invierno están en el Apéndice B, Tabla B3.

Cuadro 5.7 - Resumen de las condiciones meteorológicas de los transectos de Natal en verano, 26 de enero de 2012 y 24 de enero de 2013

Fecha	Turno	Humedad (%)	Viento (m/s)	Tmin (°C)	Tmax (°C)
26/01/2012	Mañana	60	4,17	26,5	34
	Tarde	57	6,53	28	32,6
	Noche	66	3,85	25,5	30
24/01/2013	Mañana	65	0,8	26	35
	Tarde	58	2,48	28	40
	Noche	69	0,5	23	31

Fuente: Elaboración propia.

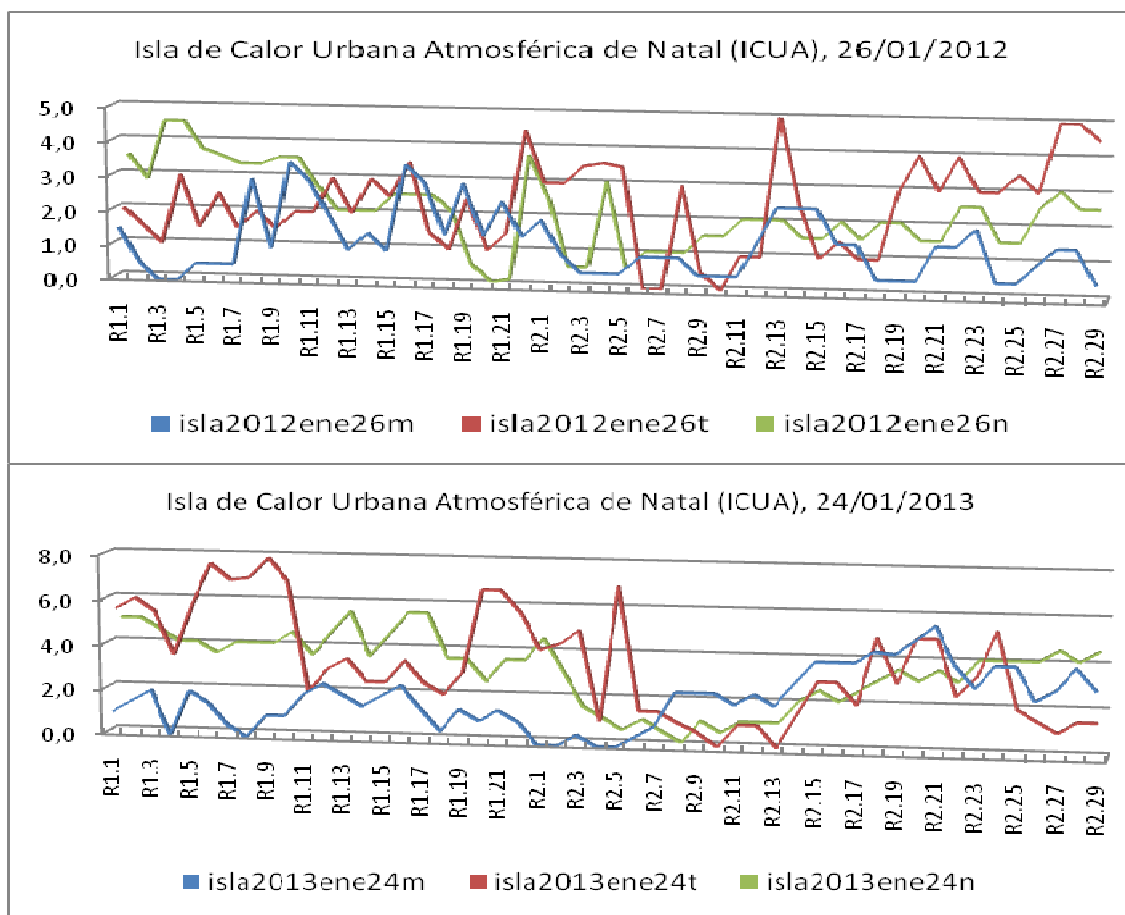


Figura 5.16. Islas de Calor Urbana Atmosféricas de Natal (ICUA) de verano. Fuente: elaboración propia

La distribución espacial de las temperaturas del día 26 de enero de 2012, transecto mañana, tarde y noche

Las temperaturas atmosféricas (TA) de los transectos del día 26/01/2012 en el período de la mañana están reflejadas en la Figura 5.17. La amplitud térmica muy alta de 7,5°C entre las isotermas. Las temperaturas más cálidas se registran en el Centro en especial los puntos R2.27, R2.28 y R2.29, en la zona Norte principalmente en los puntos R2.13, R2.20 y R2.22 y en el Oeste en el punto R1.22, en todos estos puntos con las temperaturas entre 32°C a 34°C. Las áreas más frescas al Sur, Oeste y un pequeño corte en la zona Norte con temperaturas entre los 26,5°C a 29°C.

Las temperaturas atmosféricas (TA) de los transectos del período de la tarde (Figura 5.17) presentan una amplitud térmica de 4,6°C con una configuración polinuclear con tres núcleos de temperaturas más cálidas en el Centro, Sur y Norte de la ciudad. Destacan los dos puntos más cálidos en el área central de la ciudad (R2.4, R2.5 y R2.6) localizados en un barrio comercial junto a edificios altos, con poca área verde y

los valores que oscilan entre 31°C y 32°C. Las áreas un poco más frescas están al Oeste y en la zona Norte pero con temperaturas de 28°C.

Las temperaturas atmosféricas (TA) de los transectos del período de la noche (Figura 5.17) tiene una amplitud térmica de 4,5°C entre las isothermas y con las temperaturas más cálidas en el Centro en los puntos R1.3 y R1.4 y en la zona Sur de la ciudad en los puntos R1.8, R1.9 y R1.10 con temperaturas oscilando entre 29°C y 30°C. Las áreas más frescas son las zonas Oeste y Norte.

La distribución espacial de las temperaturas del día 24 de enero de 2013, transecto mañana, tarde y noche

Las temperaturas atmosféricas (TA) de los transectos del día 24/01/2013 en el período de la mañana están reflejadas en la Figura 5.18. La amplitud térmica muy alta de 9°C entre las isothermas. Las temperaturas más cálidas en el Centro y en la zona Noreste de la ciudad alcanzándose máximos en los puntos R2.18, R2.20 y R2.21 (Norte) y R2.27 (Centro) con temperaturas entre 33°C a 35°C. Las áreas más frescas al Sur, Oeste y un pequeño corte en la zona Norte con temperaturas entre los 26°C a 29°C.

Las temperaturas atmosféricas (TA) de los transectos del período de la tarde (Figura 5.18) presentan una alta amplitud térmica de 12°C y con una configuración mononuclear con las temperaturas más cálidas en el punto R1.2 con la preocupante temperatura oscilando entre increíbles 38°C a 39°C justamente en el Parque de las Dunas, importante señalar que en este punto de muestreo se localiza flujo de viento por debajo de las dunas del parque. Las zonas más frescas se encontraron al Sur y Norte, pero con temperaturas oscilando entre 28°C a 30°C.

Las temperaturas atmosféricas (TA) de los transectos del período de la noche (Figura 5.18) presenta una alta amplitud térmica de 8,0°C entre las isothermas y con una configuración muy delineada con el área más cálida en el Sur/Oeste y fresca al Norte. Donde toda la zona Sur las temperaturas oscilan entre 28°C y 30°C con pico de 31°C (R1.17) ya la zona Norte las temperaturas oscilan entre 23°C a 26°C.

Comparación de las isothermas de 26 de enero de 2012 y 24 de enero de 2013. Mañanas. El análisis comparativo las temperaturas atmosféricas (TA) de las Figura 5.17 y del período de las mañanas tiene el rango de temperaturas entre 26°C a 31,7°C.

Los puntos más calientes están principalmente al Sur y zona Norte pero, aunque hay en el Centro (Figura 5.17) y en la zona Oeste (Figura 5.16) con temperaturas oscilando entre 29°C a 31,7°C. Para las temperaturas más frescas al Este y Oeste también en la zona Norte (Figura 5.17) y Sur (Figura 5.18) con temperaturas oscilando entre 26°C a 28°C. Tiene importancia el área verde natural del Parque de Las Dunas al Este que influye en una trayectoria hasta la zona Norte de la ciudad como también hay influencia de la cercanía de las áreas rurales adyacentes.

Tardes. La comparación de las temperaturas atmosféricas (TA) del período de las tardes entre los meses de enero (Figuras 5.17 y 5.18) muestran las isotermas con temperaturas oscilando entre 29°C a 36,9°C. Las áreas más calientes son principalmente el Centro, zona Sur y Norte de la ciudad con las temperaturas con una variación muy alta entre 32°C a 36,9°C. Las áreas más frescas se quedan al Norte y Oeste además del Centro (Figura 5.18) con las temperaturas oscilando entre 29°C a 31°C. La situación no es más crítica debido a la actuación de los vientos alisios muy frecuentes en el período de las tardes y la cercanía de las áreas verdes naturales que suponen un refrigerio térmico para la ciudad en este período.

Noches. El análisis comparativo de las temperaturas atmosféricas (TA) de las Figura 5.17 y Figura 5.18 del período de las noches muestra las isotermas con temperaturas oscilando entre 23°C a 30°C. Las zonas que presentan temperaturas más calientes son el Centro y las zonas Sur y Este con temperaturas oscilando entre 27°C a 30°C. Las temperaturas más frías principalmente en la zona Norte y Oeste con temperaturas entre 23°C y 27,5°C. De hecho, la principal característica de este turno son las altas temperaturas al Este en el Parque de las Dunas.

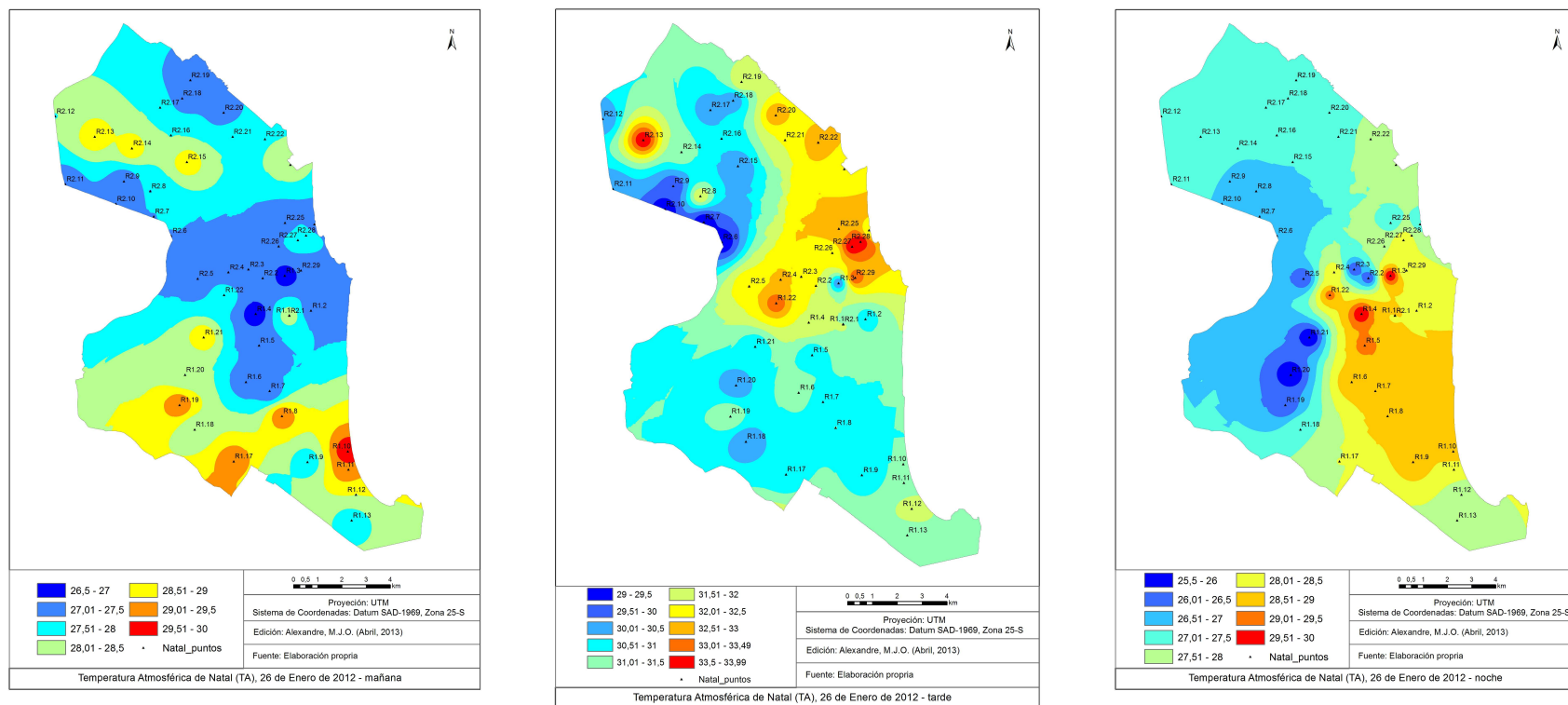


Figura 5.17. Mapa de la Temperatura atmosférica de Natal (TA), 26 de enero de 2012, mañana, tarde y noche.
Fuente: elaboración propia

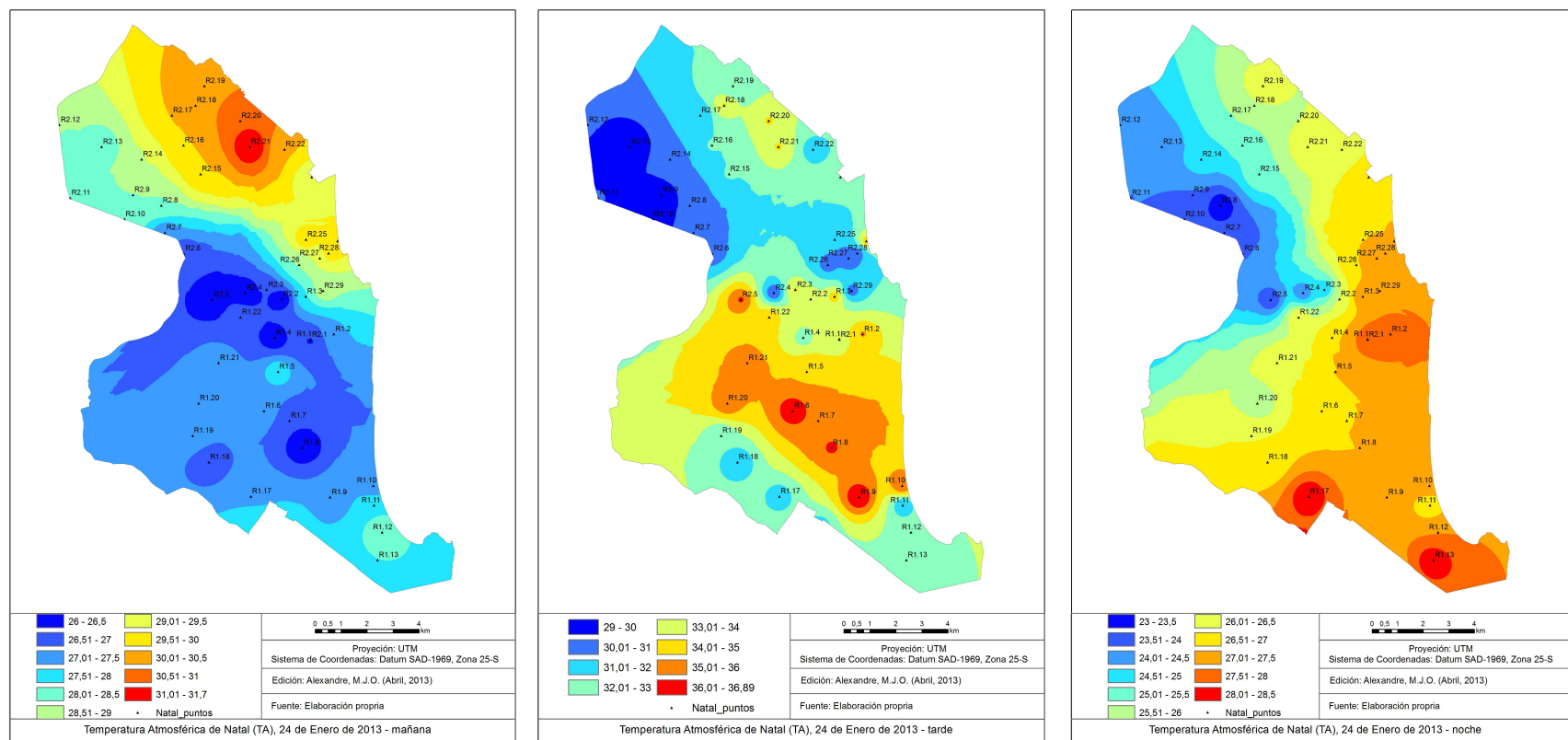


Figura 5.18. Mapa de la Temperatura atmosférica de Natal (TA), 24 de enero de 2013, mañana, tarde y noche.
Fuente: elaboración propia

Los patrones de distribución espacial de la Isla de calor urbana atmosférica (ICUA) de Natal de verano

En verano, las ICUA y las IFUA de Natal están representadas en la Figura 5.19 para el día 26 de enero de 2012 y en la Figura 5.20 del día 24 de enero de 2013, ambas en el período de verano que son los meses con las temperaturas más cálidas, cielos despejados y con poca lluvia en la ciudad. Las máximas intensidades de las ICUA del mes de enero de 2012 (Figura 5.19) son de 5°C (tarde) y 4,5°C (noche) ambas clasificadas como Fuertes y en enero de 2013 (Figura 5.20) son de 7,9°C (tarde) y 5,5°C (noche) clasificadas como Muy fuertes y Fuerte respectivamente.

Las ICUA de verano se presentan en general con una formación polinuclear con distintas formaciones. Donde, en la Figura 5.19 (tarde) las ICUA se localizan con dos núcleos extendidos en el Centro de la ciudad con los puntos R2.27, R2.28 y R2.29 y R1.22 los de mayor temperatura, todos localizados en una zona muy comercial, asfaltada, con edificios altos y de intenso tráfico, y otra ICUA en la zona Norte alrededor del punto R2.13, un área mezclada entre industrias y casas bajas. En la Figura 5.30 (tarde) la ICUA se localiza al Sur y se extiende de forma prolongada al Oeste de la ciudad, los puntos más calientes R1.6, R1.8 y R1.9 y R2.5, todos localizados en una zona comercial y con edificios bajos y altos, muy asfaltada y poco verde. En la Figura R.29 (noche) con un núcleo extendido por toda la zona Sur y los puntos de mayor temperatura son R1.3, R1.4 y R1.5 y R1.22 todos localizados en áreas comercial y residencial muy poblada y hay otra ICUA en la zona Norte alrededor de los puntos R2.18, R2.20 y R2.21 y se distingue porque estos puntos son localizados en área residencial con casas bajas con jardín y árboles. En la Figura 5.20 (noche) hay una gran área de ICUA en toda la costa Este extendiéndose por la zona Sur de la ciudad, y los puntos R1.1, R1.2, R1.13 y R1.17 son los más cálidos, con excepción del punto R1.1 los demás están localizados muy cerca de áreas verdes.

Las IFUA en el mes de enero (verano) son muy distintas para cada período del día, pero con influencia de los principales parques urbanos (las grandes áreas verdes) de la ciudad. En la Figura 5.19 las IFUA están localizadas en la zona Este, Centro y Norte de la ciudad. Son más extensas por la mañana con tres núcleos, en el Este y dos en la zona Norte y más pequeñas por las tardes quedándose en la zona Norte y por la noche (al Oeste) en estos casos hay la influencia de la cercanía de las áreas verdes naturales del Parque de las Dunas (Este) y del Parque de la Ciudad (Sur). En la Figura 5.20 las

IFUA son más intensa por las mañanas extendiéndose desde la zona Sur hasta al Oeste resultando en una bajada de las temperaturas en toda la zona Sur y Oeste de la ciudad y más pequeñas por las tardes y noches localizada en la zona Norte extendiéndose al Centro de la ciudad.

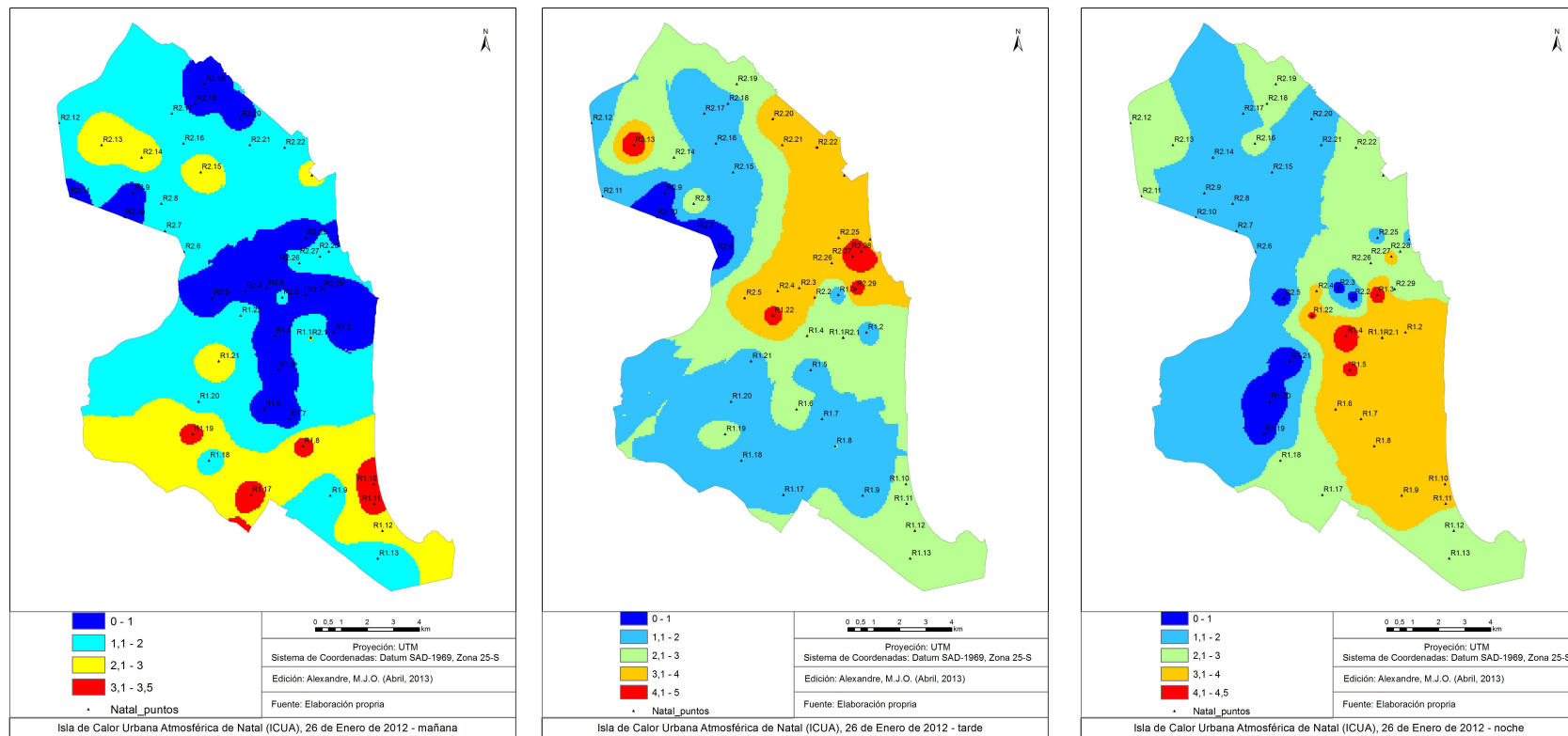


Figura 5.19. Mapas de la Isla de Calor Urbana Atmosférica de Natal (ICUA), 26 de enero de 2012, mañana, tarde y noche.
Fuente: elaboración propia

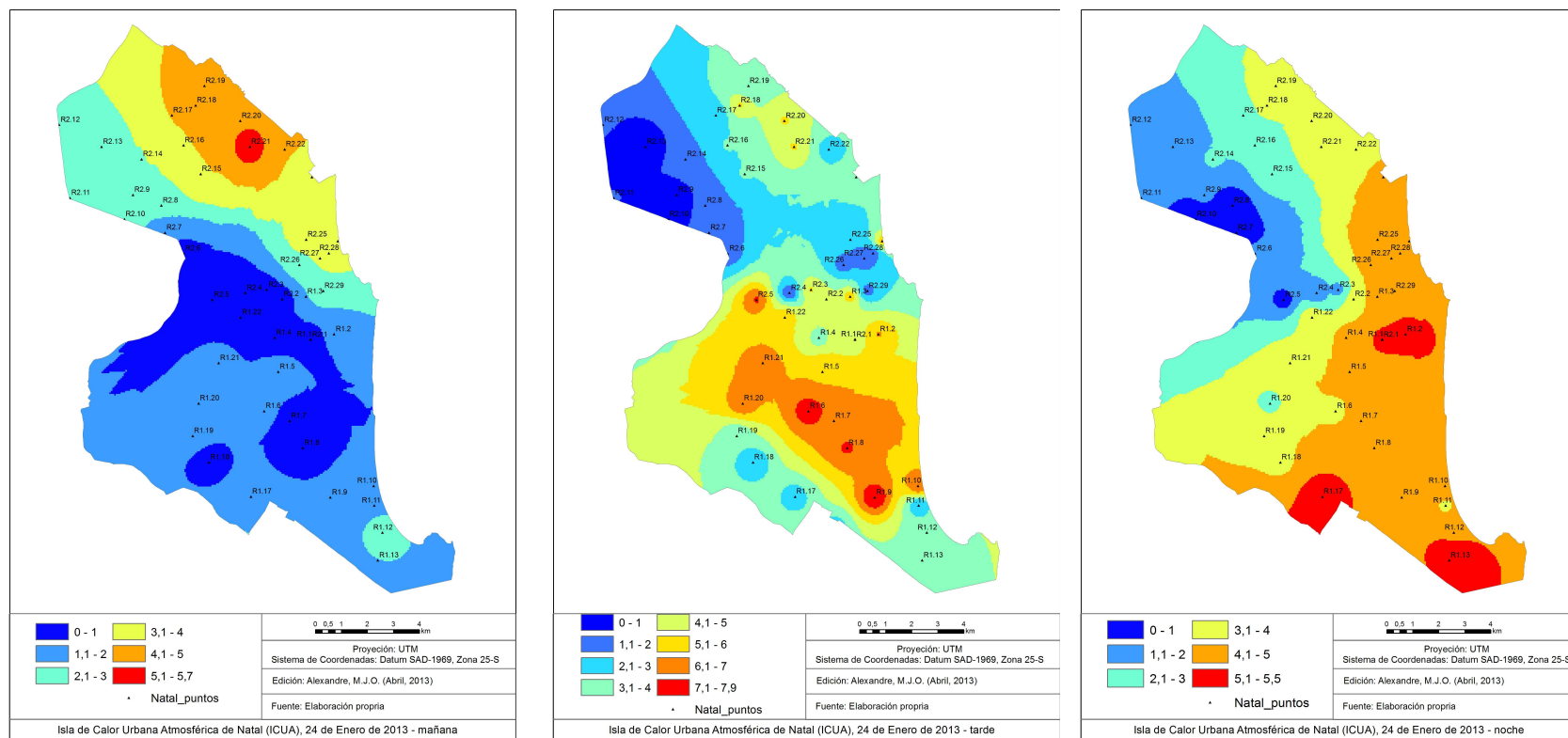


Figura 5.20. Mapas de las Isla de Calor Urbana Atmosférica de Natal (ICUA), 24 de enero de 2013, mañana, tarde y noche.
Fuente: elaboración propia

5.3.4. La isla de calor urbana atmosférica de Natal en Otoño

Día 26 de abril de 2012

1. Condiciones meteorológicas. La ciudad de Natal presentaba en el día 26 de abril de 2012 las siguientes condiciones meteorológicas, tiempo variablemente nublado con la probabilidad (menos del 30%) de lluvia por la tarde, la temperatura mínima de 24°C y la máxima de 30°C, la salida del sol a las 05:20:49 horas y la puesta del sol a las 17:15:53 horas. (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013).

2. Situaciones sinópticas. Las situaciones sinópticas del día 26/04/2012 muestran la ZCIT posicionada entre 2°N a 4°N sobre el Atlántico. El hecho sinóptico principal son los vientos de Este que añaden humedad del océano para el continente favoreciendo la formación de nubes en el sector Norte y Noreste del país. (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013).

Resultados de los transectos de otoño, 26 de abril de 2012.

En la Figura 5.21 se presenta el gráfico con el resultado de los transectos para las islas de calor urbana atmosféricas de Natal (ICUA) de otoño. Las condiciones meteorológicas (Cuadro 5.8) del día del recorrido presentó tiempo variablemente nublado y con lluvia por la tarde. En el gráfico se muestran el valor extremo con la presencia de una isla de calor Muy Fuerte de 10°C. El gráfico presentan un padrón con valores más bajos en la zona Sur de la ciudad (puntos R1.1 a R1.21) y más altos en la zona Norte y Centro de la ciudad (R2.1 a R2.29), donde las líneas siguen oscilaciones muy próximas entre sí. Los puntos con mayores valores de las islas de calor son R2.3, R2.10, R2.11 y R2.27, R2.28 y R2.29 todos son puntos localizados en barrios con grande densidad urbana y zonas comerciales. En destaque son los valores más altos de las islas en las tarde y mañanas y más bajos por las noches. Los datos completos de las ICUA de Invierno están en el Apéndice B, Tabla B4.

Cuadro 5.8 - Resumen de las condiciones meteorológicas de los transectos de Natal en otoño, 26 de abril de 2012

Fecha	Turno	Humedad (%)	Viento (m/s)	Tmin (°C)	Tmax (°C)
26/04/2012	Mañana	61	0,6	28	35,5
	Tarde	51	2,34	28	39
	Noche	62	1,2	28	30,5

Fuente: Elaboración propia.

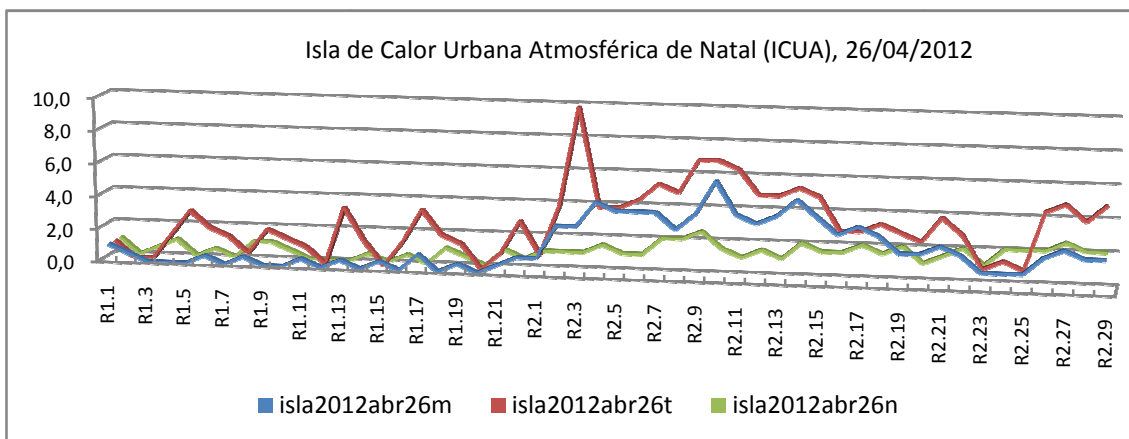


Figura 5.21. Islas de Calor Urbana Atmosféricas de Natal (ICUA) de otoño. Fuente: elaboración propia

La distribución espacial de las temperaturas del día 26 de abril de 2012, transecto mañana, tarde y noche

Las temperaturas atmosféricas (TA) de los transectos del día 26/04/2012 en el período de la mañana están reflejadas en la Figura 5.22 con las temperaturas oscilando entre preocupantes 28°C a 34°C entre las isothermas. Las temperaturas son más cálidas en la zona Norte y en el Centro, con una variación de 30°C a 34°C. Las temperaturas son más frescas en toda la zona Sur, Oeste y Este, pero oscilando entre 28°C a 30°C con reflejo además de las condiciones meteorológicas también de las áreas verdes de la zona Sur que son el Parque de la Ciudad y del área verde de Lagoinha y Ponta Negra.

Las temperaturas atmosféricas (TA) de los transectos del período de la tarde (Figura 5.22) con una preocupante oscilación térmica de 29°C a 39°C, esto es, una amplitud térmica muy alta de 10°C entre las isothermas. Las áreas con las temperaturas más cálidas son el Centro y la zona Norte con temperaturas oscilando entre 35°C a 39°C. Las áreas de temperaturas más frescas son el Este, Sur, Oeste y parte de la zona Norte con una variación de temperaturas entre 29°C a 32°C. El tiempo se presentaba con un tiempo nublado y de lluvias de corta duración durante todo el día y principalmente a la tarde y esto contribuye para la uniformidad de las temperaturas de la zona Sur y Oeste. Las temperaturas muy altas en el punto R2.3 en el Centro oscilando entre 38°C y 39°C y en la zona Norte en los puntos R2.9 y R2.10 oscilando entre 36°C y 38°C.

Las temperaturas atmosféricas (TA) de los transectos del periodo de la noche (Figura 5.22) presenta una pequeña oscilación entre 28°C a 30,5°C donde destaca la baja amplitud térmica de 2,5°C entre las isotermas, eso como reflejo del período lluvioso de todo el día. Las áreas más calientes son el Centro y la zona Norte de la ciudad con temperaturas entre 29°C a 30,5°C. Las zonas con las temperaturas más frescas con valores uniformes entre 28°C a 29°C en toda zona Sur y Oeste. Destaca la abrupta división de las temperaturas entre el Centro y zona Norte, más cálidos, y el Sur y Oeste, más frescos. Las temperaturas más cálidas en el punto R2.27 (Centro) y R2.9 (Norte), ambos con temperaturas de 30°C.

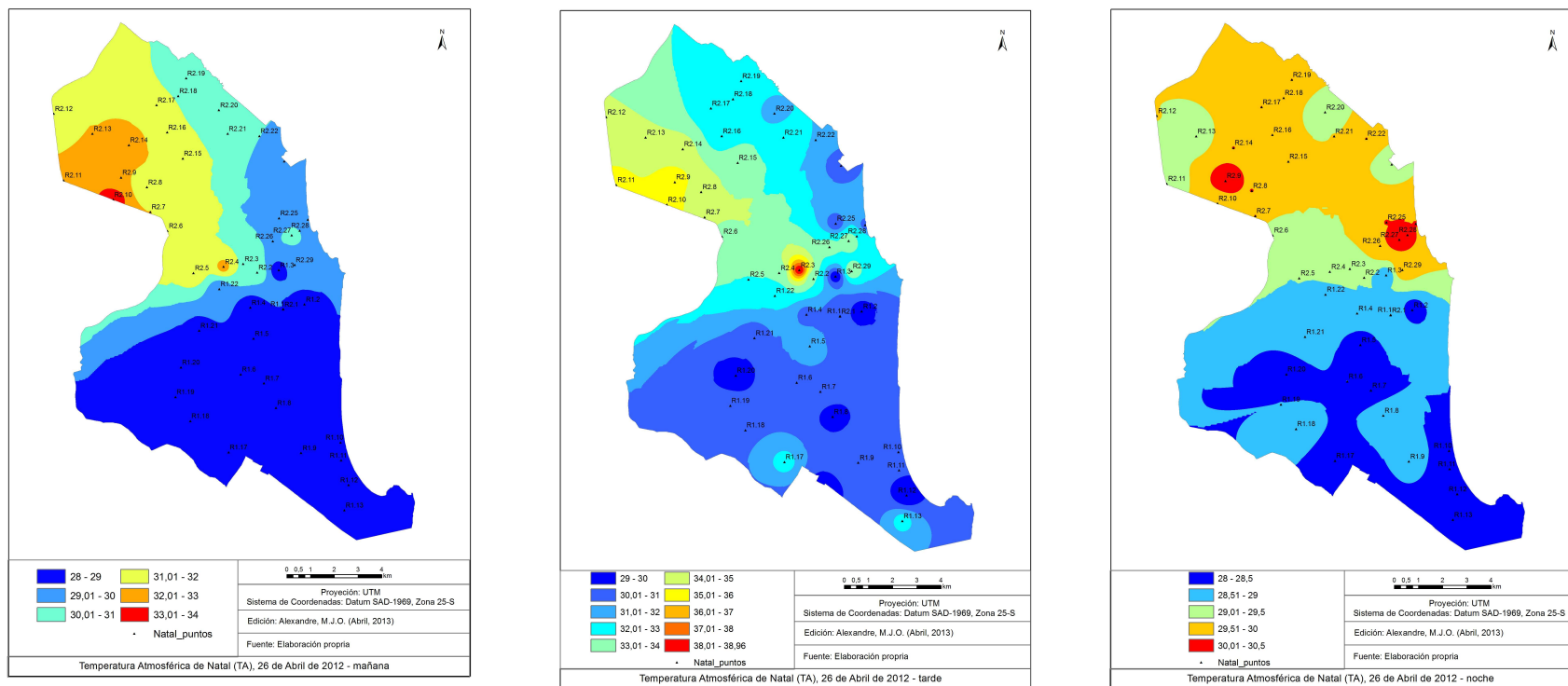


Figura 5.22. Mapa de la Temperatura atmosférica de Natal (TA), 26 de abril de 2012, tarde. Fuente: elaboración propia

Los patrones de distribución espacial de la Isla de calor urbana atmosférica (ICUA) de Natal de otoño

En otoño, las ICUA y las IFUA de Natal están representadas en el día 26 de abril de 2012 (Figura 5.23), este es el período de temperaturas cálidas y de tiempo variable con probabilidad de lluvias en la ciudad. Las máximas intensidades de las ICUA del mes de abril de 2012 son de 10°C por la tarde y 6° por la mañana ambas clasificadas como Muy fuertes y Fuerte respectivamente.

Las ICUA de otoño se presentan en general con una formación polinuclear. En la tarde hay la presencia de dos ICUA, la primera en el Centro muy bien delineada de forma circular alrededor del punto R2.3, punto este localizado justo en el centro del barrio de Alecrim un área exclusivamente comercial, con edificios bajos y altos y con tráfico intenso. La otra, en la zona Norte entre los puntos de mayor temperatura R2.9, R2.10 y R2.11 igualmente localizados en la principal área comercial de la zona Norte (Av. Tomás Landim) además con la presencia de industrias. Por la mañana, la ICUA tiene la misma configuración de la tarde, siendo un poco más intensa en la zona Norte se extendiendo a partir del punto de mayor temperatura el R2.10 un área mezclada entre zona muy comercial, asfaltada, con edificios bajos y de intenso tráfico.

Las IFUA en el mes de abril (otoño) está muy bien presente igualmente en los tres períodos del día en las zonas Sur y Oeste e incluso extendiéndose hasta el Centro y zona Norte de la ciudad. En estos casos está muy visible la gran influencia de las grandes áreas verdes naturales de la ciudad, el Parque de las Dunas (Este) y al Sur el Parque de la Ciudad forman el área verde de Lagoinha y Ponta Negra (Sur).

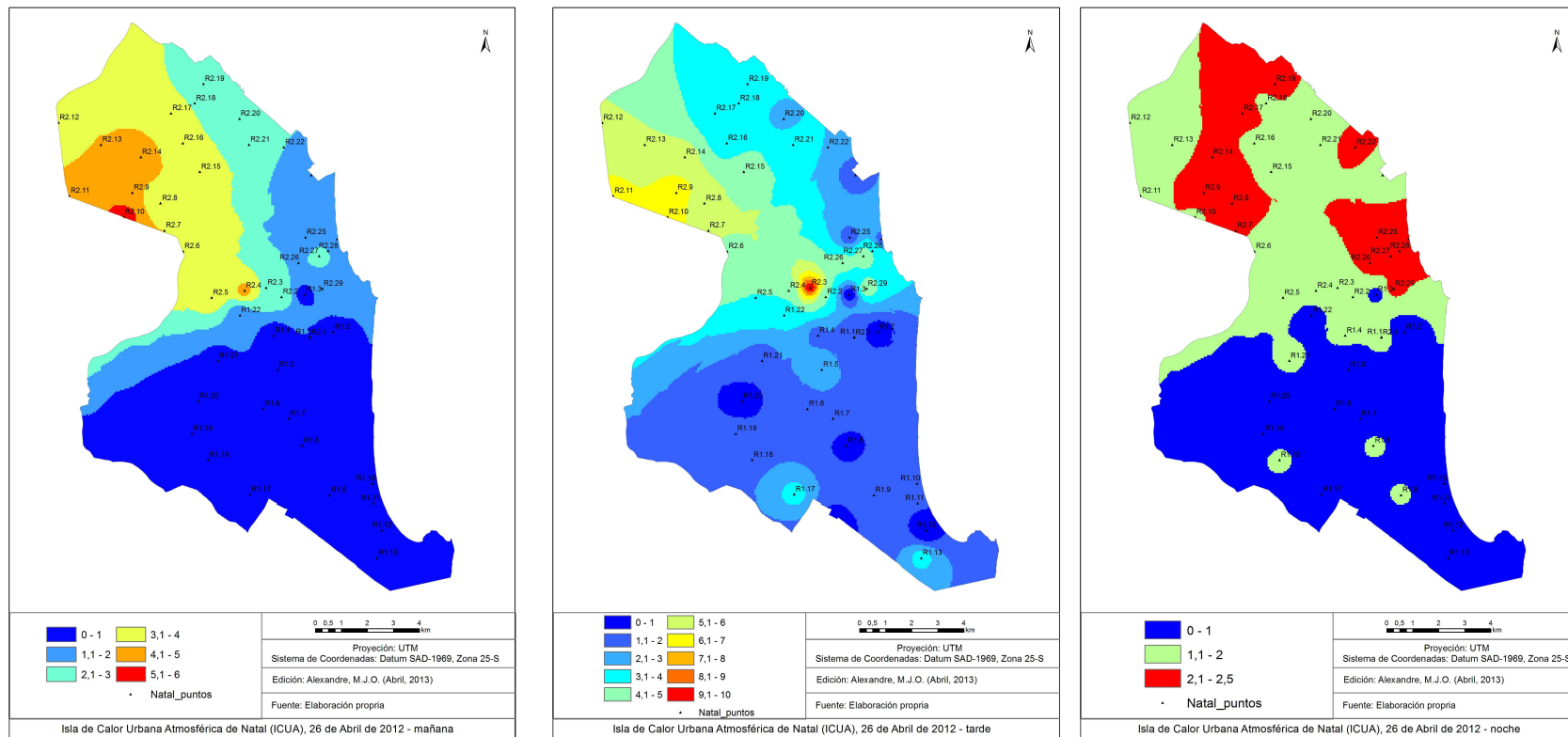


Figura 5.23. Mapas de Isla de Calor Urbana Atmosférica de Natal (ICUA), 26 de abril de 2012, mañana, tarde y noche.
Fuente: elaboración propia

5.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TEMPERATURAS ATMOSFÉRICAS (TA) DE NATAL ENTRE 1990 Y 2012.

Araujo (1991) realizó una serie de medidas relacionadas con el clima urbano de Natal para la planificación urbana y de edificios. Este estudio tuvo registros de las temperaturas del aire a través de un transecto de campo con total de 31 puntos de muestreo que cubrió solo la zona Sur de la ciudad durante tres días consecutivos realizados en los días 30 y 31 de marzo de 1990 y 1 de abril de 1990. En este apartado será realizado un análisis comparativo con los resultados de ese estudio pionero y los obtenidos por nosotros en el año de 2012. Durante estos 22 años se han producido importantes modificaciones en el crecimiento de la ciudad de Natal.

Los datos de 1990 serán comparados con los datos de abril de 2012, efectivamente es el mes más aproximado al del año de 1990 (ambos casos en otoño). Además, las metodologías utilizadas son muy semejantes, de los transectos urbanos con la localización de los puntos muy aproximados, aunque en el primer estudio se refiere solamente a la zona Centro y Sur de la ciudad y los horarios más o menos aproximados. De este hecho es posible intuir una interrelación entre ambos períodos para intentar comprobar los cambios en la atmósfera de la ciudad.

5.4.1. La isla de calor urbana atmosférica de Natal en 1990 y 2012

Día 30 de marzo de 1990

1. Condiciones meteorológicas. Los días del primer transecto fueron detalladas por Araujo (1991). En el día 30/03/1990, temperatura media del aire de 28,8°C, máxima 31°C y mínima de 23,7°C y humedad relativa del aire en 80% y sin lluvia. En el día 31/03/1990 la ciudad con buen tiempo y el cielo parcialmente cubierto con temperatura media del aire de 29,2°C, máxima 31°C y mínima de 23,7°C y humedad relativa del aire en 80% y sin lluvia. El último día 01/04/1990 la ciudad estaba con buen tiempo con temperatura media del aire de 29,0°C, máxima 31,4°C y mínima de 26,6°C y humedad relativa del aire en 74%.

Día 26 de abril de 2012

1. Condiciones meteorológicas. El caso fue escogido para el análisis el día 30 de marzo de 1990 justamente por las aproximaciones horarias de los transectos del día 26 de abril de 2012 y por las buenas condiciones de tiempo sin lluvia. La ciudad de Natal

presentaba en el día 26 de abril de 2012 las siguientes condiciones meteorológicas, tiempo variablemente nublado con la probabilidad (menos del 30%) de lluvia por la tarde, la temperatura mínima de 24°C y la máxima de 30°C, la salida del sol a las 05:20:49 horas y la puesta del sol a las 17:15:53 horas. (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013).

2. Situaciones sinópticas. Las situaciones sinópticas del día 26/04/2012 muestran la ZCIT posicionada entre 2°N a 4°N sobre el Atlántico. El hecho sinóptico principal son los vientos de Este que añaden humedad del océano para el continente favoreciendo la formación de nubes en el sector Norte y Noreste del país. (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013).

Resultados de los transectos Análisis comparativo entre 1990 y 2012

En la Figura 5.24 se presenta el gráfico con el resultado de los transectos para las islas de calor urbana atmosféricas de Natal (ICUA) de otoño. Las condiciones meteorológicas (Cuadro 5.9) de ambos transectos trascurrieron con las condiciones meteorológicas muy características para este período estacional de otoño, en el que el tiempo se mantuvo dentro del rango normal de temperaturas máximas y mínimas, humedad y sin lluvias. En el gráfico se muestran los valores extremos con la presencia de una isla de calor Muy Fuerte de 10°C en 2012 y una isla Fuerte de 5,4°C en 1990. Ambos gráficos están referidos solamente a la zona Sur de la ciudad. De igual forma, no presentan un padrón definido, pero los valores oscilan entre los puntos de mediciones. Los puntos con mayores valores de las islas de calor son P3, P14 y P18 en 1990 y R1.5, R1.10, R1.14 y R1.17 todos son puntos localizados en barrios con grande densidad urbana y zonas comerciales. En destaque son los valores más altos de las islas en las tarde y noches en 2012 y en la noche y tarde de 1990. Los datos completos de las ICUA de Invierno están en el Apéndice B, Tabla B5.

Cuadro 5.9 - Resumen de las condiciones meteorológicas de los transectos de las análisis comparativas de Natal entre 1990 y 2012

Fecha	Turno	Humedad (%)	Viento (m/s)	Tmin (°C)	Tmax (°C)
26/04/2012	Mañana	61	0,6	28	35,5
	Tarde	51	2,34	28	39
	Noche	62	1,2	28	30,5
30/03/1990	Mañana			27,5	33,5

	Tarde			28	32
	Noche			24,2	29,6

Fuente: Elaboración propia y Araujo, 1991.

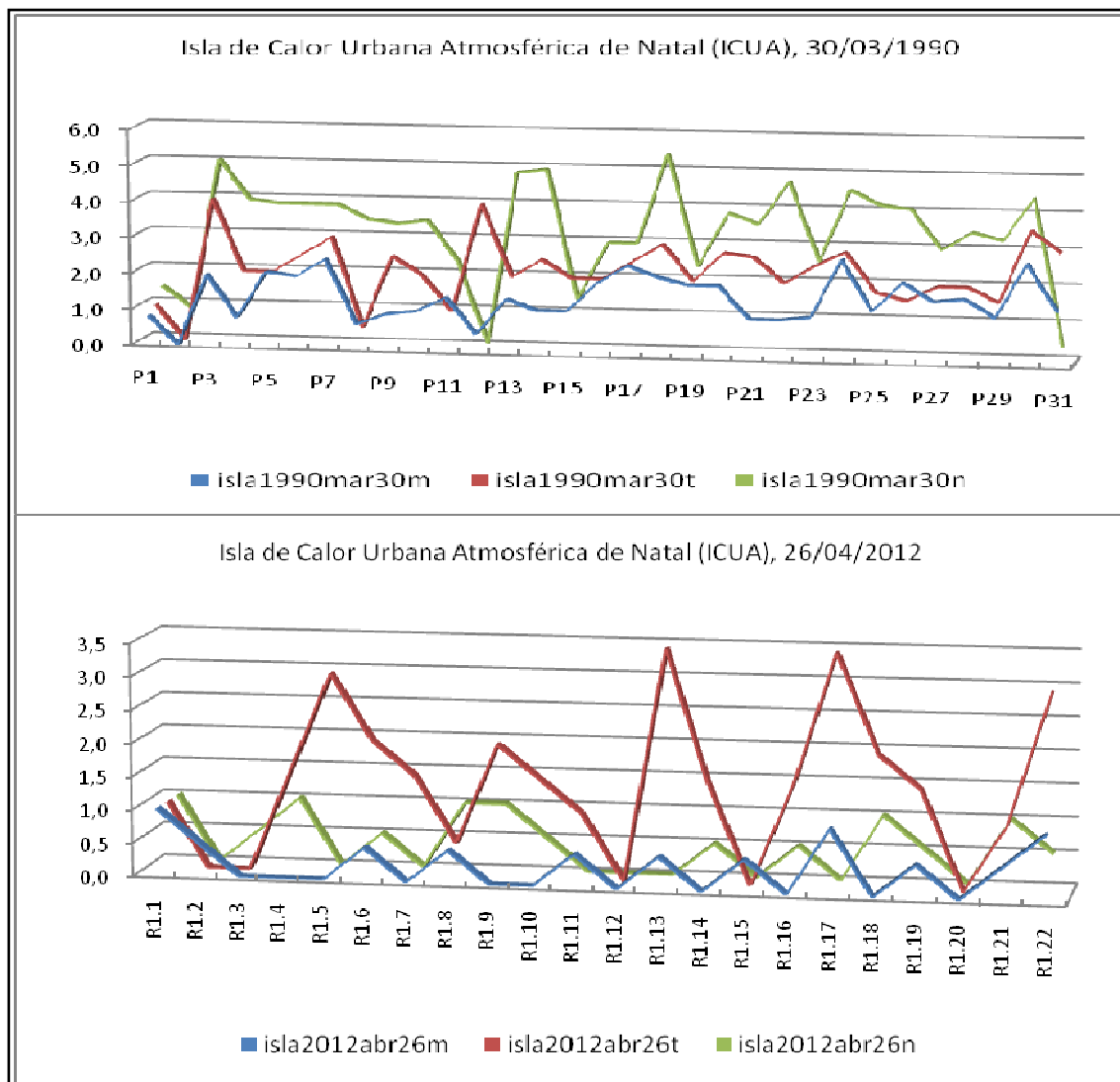


Figura 5.24. Islas de Calor Urbana Atmosféricas de Natal (ICUA) de los transectos de las análisis comparativas de Natal entre 1990 y 2012. Fuente: Elaboración propia y Araujo, 1991

La distribución espacial de las temperaturas del día 30 de marzo de 1990 y 26 de abril de 2012, transecto mañana, tarde y noche

Mañanas. El análisis comparativo de las Figuras 5.25 y 5.26 ambas de la mañana, muestran primero que las condiciones del tiempo fueron distintas entre estos dos días. El día 26 de abril de 2012 la ciudad estaba con tiempo nublado y lluvia por las tardes

(Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013) y el día 30 de marzo de 1990 transcurrió sin lluvia (Araujo, 1991). Tiempo esos muy característicos de los meses de marzo y abril que son meses típicos de otoño, que en general presentan tiempo variable de sol intercalados con lluvias, sin muchos cambios en las temperaturas, estas muy similares a las del período de verano, pero con pequeño descenso de las mínimas al amanecer siendo el principal rasgo la presencia de días nublados muy característico en este período.

La primera característica está relacionada con la diferencia entre los rangos de las temperaturas siendo, en el día 26 de abril de 2012 (Figura 5.25) las temperaturas oscilando entre 28°C a 36°C y en el día 30 de marzo de 1990 (Figura 5.26) más bajas entre 27,5°C a 32°C por lo tanto, sin cambios en las mínimas pero con un incremento de 4°C en las máximas entre 1990 y 2012 el Natal.

Los puntos más calientes en la Figura 5.25 son R2.26, R2.27 y R2.29 (34°C a 35°C) y en la Figura 5.26 los puntos P12 y P30 (31°C a 32°C) son los más cálidos y concordantes en la localización en el Centro de la ciudad. Las áreas más frescas en ambas figuras están referidas al Parque de las Dunas (Este) y el área verde de Ponta Negra (Sur). De hecho, la principal característica entre las figuras en este período son las diferencias de 4°C entre las temperaturas máximas entre los dos períodos y los puntos más cálidos en el Centro de la ciudad en las mañanas.

Tardes. El análisis comparativo de la Figura 5.25 y la Figura 5.26 del período de las tardes tiene como principal característica la diferencia entre los rangos de las temperaturas donde, en el día 26 de abril de 2012 (Figura 5.25) las temperaturas están oscilando en un preocupante rango entre 28°C a 39°C y en el día 30 de marzo de 1990 (Figura 5.26) más bajas entre 24°C a 32°C. Esto muestra que en una tarde lluviosa como en el caso de la Figura 5.25 las temperaturas están 4°C más altas en las mínimas y 7°C más cálidas en las máximas entre 1990 y 2012 el Natal.

Los puntos más cálidos en la Figura 5.25 es el R2.3 en el Centro de la ciudad y en la Figura 5.26 los puntos P3 en el Centro de la ciudad y P30 al Sur. Donde el punto R2.3 la temperatura está oscilando entre elevadísimos 37°C a 39°C y el punto P3 entre 31°C a 32°C. Las áreas con las temperaturas más frescas no están muy bien delimitadas, pero tiene importancia el área verde natural del Parque de Las Dunas al Este que influye en una trayectoria de temperaturas más agradable hasta la zona Oeste de la ciudad.

De hecho, la principal característica de las figuras Figura 5.25 y 5.26 en este período son las altas temperaturas en el Centro de la ciudad en las tardes como en 2012 (Figura 5.25) ya se acercan a los 40°C, también las altas amplitudes térmicas tanto en las mínimas como en las máximas y las diferencias de 4°C (mínimas) y 7°C (máximas) entre las temperaturas entre los dos períodos, comprobando el calentamiento de la ciudad.

Noches. El análisis comparativo de las Figuras 5.25 y 5.26 del período de las noches tiene entre los rasgos más característicos las diferencias de los rangos de las temperaturas. El día 26 de abril de 2012 (Figura 5.25) las temperaturas oscilaron entre 28°C a 30°C y en el día 30 de marzo de 1990 (Figura 5.26) entre 24°C a 30°C. Así las temperaturas están sin cambios en las máximas pero 4°C mas altas en las mínimas entre 1990 y 2012 el Natal.

Las áreas más cálidas siguen siendo concordante con relación a las isotermas en Centro de la ciudad, donde en la Figura 5.25 con los puntos R2.25, R2.27 y R2.28 (en 30°C) y en la Figura 5.26 los puntos P3, P13, P14, P18 y P22 con temperaturas entre 28°C a 30°C. Las temperaturas más frescas localizadas al Sur y Este de la ciudad contribuyendo para esto respectivamente las áreas naturales verdes de Ponta Negra, Lagoinha, Parque de la Ciudad y al Este el Parque de las Dunas.

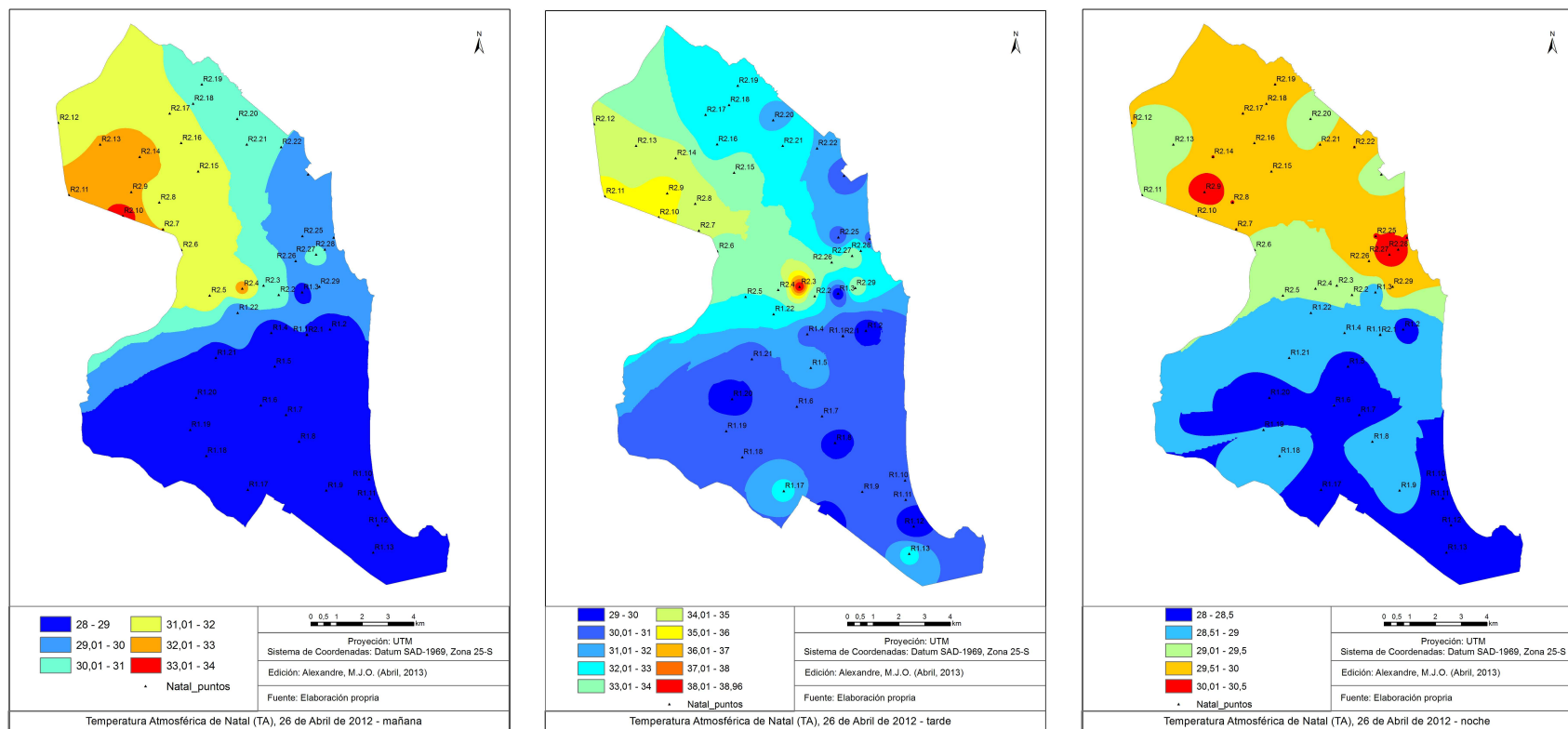


Figura 5.25. Mapa de la Temperatura atmosférica de Natal (TA), 26 de abril de 2012, mañana, tarde y noche.
Fuente: elaboración propia

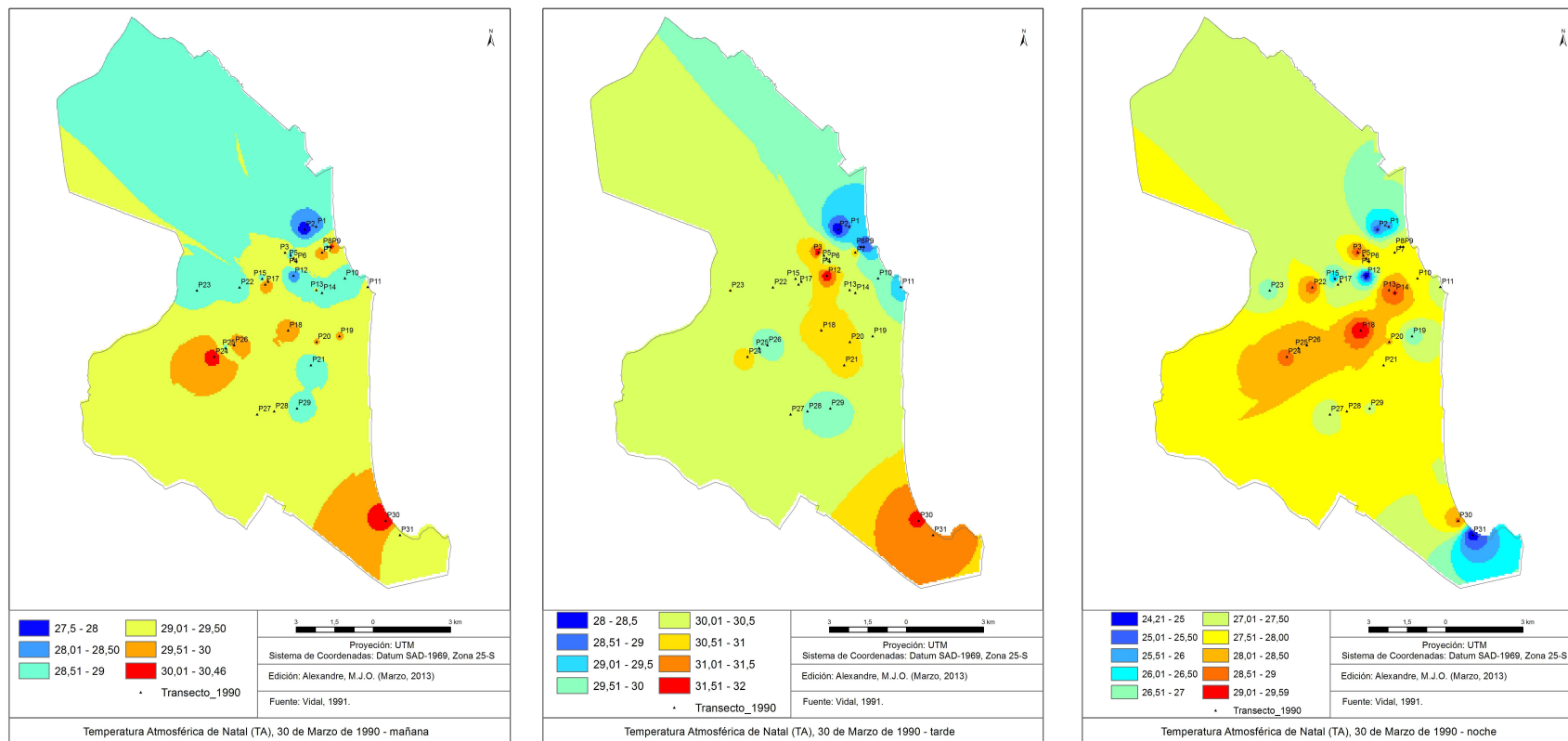


Figura 5.26. Mapa de la Temperatura atmosférica de Natal (TA), 30 de marzo de 1990, mañana, tarde y noche.
Fuente: elaboración propia. y Araujo (1991)

5.4.2 - Síntesis del historial de las temperaturas atmosféricas de Natal entre 1990 y 2012

No cabe duda, que entre estas pocas más de dos décadas (22 años) la ciudad de Natal presenta cambios muy significativos en su clima urbano. Los datos anteriormente presentados muestran estos cambios. Así pues, además de los factores meteorológicos y sinópticos las temperaturas atmosféricas presentan aproximadamente un incremento, considerando el promedio de los datos, para las mínimas en 2,8°C y las máximas en 3,6°C entre el año de 1990 y 2012 (Figura 5.27). La influencia de los condicionantes urbanos son determinantes para el clima local en estos períodos y es muy evidente para los cambios de temperaturas en la ciudad.

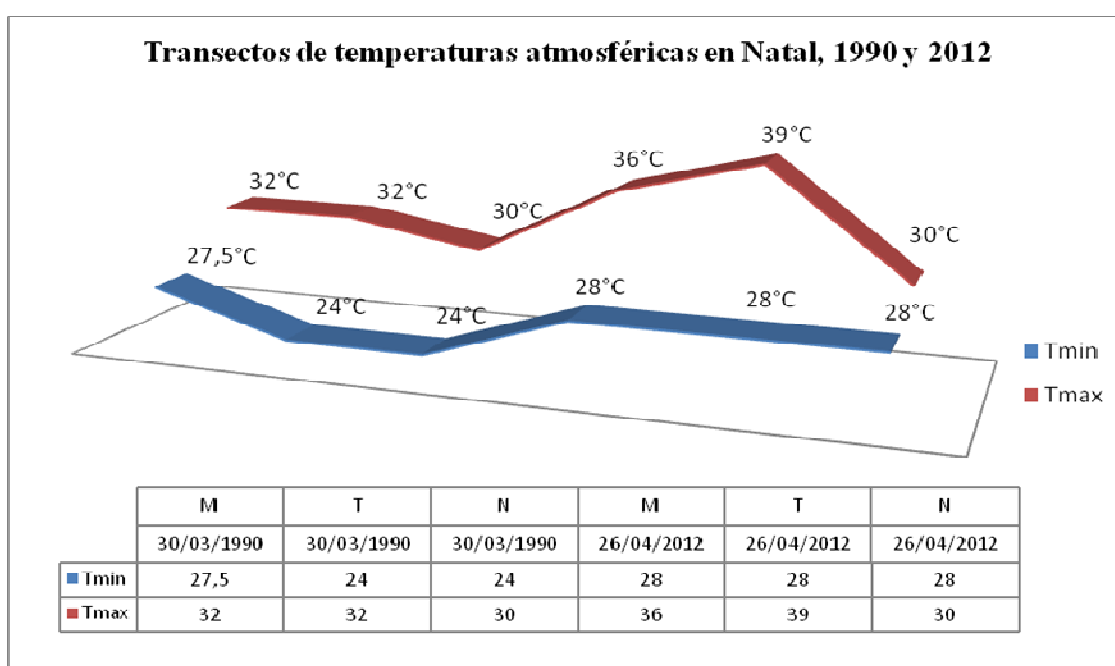


Figura 5.27 - Historial de 22 años de temperaturas atmosféricas en Natal

Estos resultados definen que las áreas donde están presentes las temperaturas más cálidas de la ciudad, exceptuando el área de la zona Norte por insuficiencia del dato histórico de 1990, comprenden principalmente los barrios de Ciudad Alta, Petrópolis y Alecrim además de una pequeña área en el barrio de Ponta Negra al Sur de la ciudad lugares donde fueron medidos las temperaturas más altas en los tres períodos del día. Las áreas que presentan temperaturas más bajas son los lugares que están bajo la influencia de las grandes áreas de vegetación natural que son los Parques de las Dunas (Este) y el Parque de la Ciudad, el área de vegetación natural de Ponta Negra y Lagoinha (Sur) y la zona de vegetación de manglares en las orillas del río Potengi

(Centro) además de las áreas que hay influencia de la cercanía rural adyacentes a la ciudad.

5.5. CONCLUSIÓN

El análisis de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire nos permite definir los rasgos generales más característicos de las islas de calor urbanas atmosféricas (ICUA) y de las islas de frescor urbanas atmosféricas (IFUA) en Natal, tanto en su evolución temporal (diaria y estacional) como los patrones de distribución espacial a demás de la evolución entre 1990 y 2012.

Las islas de calor urbanas atmosféricas (ICUA) diarias en Natal ocurre en los tres turnos del día. Pero, resulta más intenso principalmente en el turno de las tardes y mañana y menos por las noches, influido por el efecto de la absorción del intenso calor solar diurno en los materiales de la estructura urbana.

Estacionalmente las mayores intensidades se produce en la primavera, después en el verano y otoño y por ultimo en el invierno el periodo de las lluvias.

Los factores meteorológicos y sinópticos tienen mucha influencia en las ICUA de Natal. Los resultados mostraron que la influencia de la proximidad del océano principalmente relacionada con la humedad registrada siempre por encima de 50% en todo el año en la ciudad. Los vientos alisios son otro factor determinante, con su dirección Sureste casi todo el año con excepción del verano de dirección Noreste y siempre muy presente al final de las mañanas y inicio de las tardes contribuyen para disminuir el efecto caluroso en la ciudad. Las precipitaciones típicas principalmente en el periodo de otoño y invierno son determinantes para disminuir las temperaturas y el efecto de las ICUA.

Los patrones de distribución térmico espacial en el área urbana de la ciudad es muy dispersa, pero el Centro de la ciudad es el área que presenta las mayores ocurrencias de altas temperaturas en los tres turnos, en segundo lugar la zona Norte, después las zonas Sur y Oeste (Cuadro 5.10). El área de menor temperatura es la zona Este, el área ocupada por el Parque de Las Dunas que es la más gran área verde urbana natural de la ciudad. La temperatura mínima registrada en los transectos fue de 21°C en el invierno (período de las lluvias) y la máxima de 39°C en el otoño (período de sequia).

Cuadro 5.10. Resumen de las temperaturas atmosféricas (TA) máximas y mínimas (°C) de los transectos en el área urbana de Natal, mañana tarde y noche

Período	Turno	Centro	Norte	Sur	Este	Oeste
Invierno	Mañana	TAmáx 27 a 29	TAmáx 27 a 29	TAmin 22,5 a 26	TAmin 22,5 a 26	TAmáx 27 a 29
	Tarde	TAmáx 30 a 31,5	TAmáx 30 a 31,5	TAmáx 30 a 31,5	TAmin 26 a 28	TAmin 26 a 28
	Noche	TAmáx 25 a 28,5	TAmin 21 a 25	TAmin 21 a 25	TAmin 21 a 25	TAmin 21 a 25
Primavera	Mañana	TAmáx 29 a 32	TAmáx 29 a 32	TAmin 23 a 27,5	TAmin 23 a 27,5	TAmin 23 a 27,5
	Tarde	TAmáx 30 a 39	TAmáx 30 a 39	TAmin 27,5 a 29	TAmin 27,5 a 29	TAmáx 30 a 39
	Noche	TAmáx 26 a 27,5	TAmáx 26 a 27,5	TAmin 23 y 25,5	TAmin 23 y 25,5	TAmin 23 y 25,5
Verano	Mañana	TAmáx 29 a 31,7	TAmáx 29 a 31,7	TAmáx 29 a 31,7	TAmin 26 a 28	TAmáx 29 a 31,7
	Tarde	TAmáx 32 a 36,9	TAmáx 32 a 36,9	TAmáx 32 a 36,9	TAmin 29 a 31	TAmin 29 a 31
	Noche	TAmáx 27 a 30	TAmin 23 y 27,5	TAmáx 27 a 30	TAmáx 27 a 30	TAmin 23 y 27,5
Otoño	Mañana	TAmáx 30 a 34	TAmáx 30 a 34	TAmin 28 a 30	TAmin 28 a 30	TAmin 28 a 30
	Tarde	TAmáx 35 a 39	TAmáx 35 a 39	TAmin 29 a 32	TAmin 29 a 32	TAmin 29 a 32
	Noche	TAmáx 29 a 30,5	TAmáx 29 a 30,5	TAmin 28 a 29	TAmin 28 a 29	TAmin 28 a 29

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de las islas de calor urbanas atmosféricas (ICUA) y de las islas de frescor urbanas atmosféricas (IFUA) de la ciudad Natal se muestran en el Cuadro 5.11. Las ICUA más altas se producen en el Centro y en la zona Norte de la ciudad. La configuración de las ICUA en el área urbana de la ciudad son policéntricas, aunque el Centro de la ciudad presenta las mayores ocurrencias de altas temperaturas en los tres turnos, en segundo la zona Norte, después las zonas Sur y Oeste. Los principales puntos de muestreo que detectaron tales anomalías térmicas urbanas están localizados en los barrios de Ciudad Alta, Alecrim e Igapó. Estos tres barrios son subcentros y concentran

una gama de actividades económicas y de servicios asociados al intenso desplazamiento urbano para estos lugares. Las temperaturas más altas de las ICUA registradas, fueron tres por las tardes en el otoño con 11,4°C (24/10/2012), 10,0°C (24/04/2012), 7,9°C (24/01/2013) y un caso por la mañana de 9,0°C (24/10/2012), todos casos clasificados como Muy Fuertes (>6°C). Este aspecto representa un dato muy preocupante para la ciudad, que necesita replantear su modelo urbanístico para evitar el deterioro de la realidad climática.

Las IFUA son más frecuentes al Este, Sur y Oeste de la ciudad, más intensas por las noches y mañanas y menos por las tardes. Las IFUA son más frecuentes en la primavera y otoño y poco frecuentes en el verano e invierno. La localización de las IFUA son muy determinadas por las grandes áreas verdes naturales de los parques urbanos, al Este el Parque de las Dunas, al Sur el Parque de la Ciudad y las áreas verdes naturales de Ponta Negra y de Lagoinhas como también las áreas verdes en la orilla del río Potengi y de la Laguna Azul en el extremo de la zona Norte de la ciudad. Aunque es fundamental la importancia de la preservación y manutención de tales áreas verdes naturales, es preocupante comprobar que la ciudad camina en un proceso de desarrollo que viene a sustraer partes de estos importantes refrigerios térmicos, como el caso de Lagoinha en la zona Sur, ya en intenso proceso de ocupación de su espacio por urbanizaciones.

Cuadro 5.11. Resumen de las islas de calor y frescor urbanas atmosféricas (ICUA e IFUA) en Natal, mañana tarde y noche

Período	Turno	Centro	Norte	Sur	Este	Oeste
Invierno	Mañana	ICUA F 4 a 5,5	ICUA M 2 a 3 F 4 a 5,5	ICUA F 4 a 5,5	IFUA	ICUA M 2 a 3
	Tarde	ICUA M 2 a 3,5 F 4 a 5,5	ICUA M 2 a 3,5 F 4 a 5,5	ICUA M 2 a 3,5 F 4 a 5,5	IFUA	IFUA
	Noche	ICUA M 2 a 3 F 4 a 4,5	ICUA F 4 a 4,5	ICUA M 2 a 3	IFUA	ICUA M 2 a 3
Primavera	Mañana	ICUA F 4 a 6 MF 6 a 9	ICUA F 4 a 4,5 MF 6 a 9	IFUA	IFUA	IFUA

	Tarde	ICUA M 3 a 4 F 4 a 6 MF 6 a 11,4	ICUA M 3 a 4 F 4 a 6 MF 6 a 11,4	IFUA	IFUA	ICUA M 3 a 4
	Noche	IFUA	ICUA M 3 a 3,5	IFUA	IFUA	IFUA
Verano	Mañana	ICUA M 2 a 4	ICUA M 2 a 4 F 4 5,7	ICUA M 2 A 3,5	IFUA	ICUA M 2 A 3,5
	Tarde	ICUA M 2 a 4 F 4 a 5	ICUA M 2 a 4 F 4 a 6	ICUA M 2 a 4 F 4 a 6 MF 6 7,9	IFUA	ICUA M 2 a 4 F 4 a 6 MF 6 7,9
	Noche	ICUA M 2 a 4 F 4 a 5,5	IFUA	ICUA M 2 a 4 F 4 a 5,5	ICUA F M 2 a 4 F 4 a 5,5	ICUA M 2 a 4
Otoño	Mañana	ICUA M 3 a 4 F 4 a 6	ICUA M 3 a 4 F 4 a 6	IFUA	IFUA	IFUA
	Tarde	ICUA M 2 a 4 F 4 a 6 MF 6 a 10	ICUA M 2 a 4 F 4 a 6 MF 6 a 7	IFUA	IFUA	IFUA
	Noche	ICUA M 2 a 2,5	ICUA F 2 a 2,5	IFUA	IFUA	IFUA

Fuente: Elaboración propia

(PS: Débil = 0°C a 2°C / Moderada = 2°C a 4°C / Fuertes = 4°C a 6°C / Muy Fuerte = >6°C)

De hecho, las cuatro grandes áreas verdes naturales de la ciudad, al Este el Parque de las Dunas, al Sur el Parque de la Ciudad y las áreas verdes Ponta Negra y Lagoinhas al centro la vegetación de manglares en la orilla del río Potengi y al Norte el área verde de la Laguna Azul son determinantes para el frescor de las temperaturas en Natal.

Hay una relación determinante entre la estructura urbana y las ICUA en la ciudad comprobadas por la presencia de las ICUA en las áreas del Centro, zona Norte y Sur áreas muy urbanizadas, densamente ocupadas entre edificios bajos y altos, grandes centros comerciales y supermercados, industrias, muy asfaltadas y con pocas plazas de

áreas verdes. Por fin, está muy identificada la presencia de puntos con temperaturas más cálidas en el Centro de la ciudad, donde los más destacado es el punto R2.26 justamente el punto central de la ciudad localizado entre edificios altos. El punto R2.3 en el centro del barrio de Alecrim, una zona muy comercial, y R2.10 en la zona Norte en la Av. Tomás Landin, otra área de intensas actividades comerciales e industriales.

Teniendo en cuenta estos análisis de la configuración térmica con la presencia y magnitudes de muy altas ICUA en la ciudad de Natal, hay que replantear el espacio urbano de la ciudad, con la preservación y protección de sus actuales áreas verdes naturales e incrementar una visión urbanística pro verde en todos los ámbitos de todo el territorio urbano de Natal y sus municipios limítrofes.

CAPÍTULO 6. EL COMPORTAMIENTO ESPACIO-TEMPORAL DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE SUPERFICIE DE NATAL

6.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene como objetivo el análisis de las islas de calor urbanas superficiales (ICUS) y de las islas de frescor urbanas superficiales (IFUS) de la ciudad de Natal a través de las temperaturas superficiales (TS) captadas por las imágenes de satélite. Se han utilizadas 10 imágenes del satélite Landsat correspondientes a los años 2011, 2012 y 2013, además del dato histórico del año 1990. Estos años fueron seleccionados porque corresponden a las mismas fechas que se realizaron las medidas de temperatura del aire de los transectos en Natal.

Las imágenes de satélite fueron sometidas al procesamiento digital con el programa ENVI 4.7 y después fueron extraídos los datos de las temperaturas de cada pixel correspondiente a los números digitales (ND) de cada imagen y en seguida con estos datos se elaboró los mapas de las ICUS y las IFUS con el método *raster calculator* con el sistema de información geográfica ArcGis desktop 10.

Para cumplir con el análisis de las temperaturas de la superficie en Natal y culminar con la delimitación de las ICUS y de las IFUS el Natal, el planteamiento se concreta según los siguientes pasos (apartados). En primer lugar, fueron analizados detalladamente los patrones de distribución de las islas de calor urbanas superficiales (ICUS) de Natal en pares de meses relacionados con cada estación del año. Enseguida, fue analizado la evolución histórica entre las islas de calor urbanas superficial (ICUS) de Natal entre las imágenes de 2012 y el dato histórico de 1990. En tercer lugar, un análisis comparativa entre las islas de calor urbano superficiales (ICUS) y las islas de calor urbanas atmosféricas (ICUA) de Natal para averiguar la evolución y de qué modo actúan o influyen en Natal y por último la conclusión.

6.2. METODOLOGÍA

Las imágenes utilizadas en este estudio fueron del satélite Landsat y obtenidas en el sitio del USGS (*The United States Geological Survey*, <http://www.usgs.gov/pubprod/>) en el formato Geotiff, sensor ETM, Path 214 y Row 064, que es la escena correspondiente a la ciudad de Natal. Con estas imágenes se

pretende extraer las temperaturas de la superficie para ser analizado las islas de calor urbana superficial (ICUS) de Natal.

Características de las imágenes de Landsat. Las escenas de Landsat fueron seleccionadas teniendo en consideración dos aspectos principales: se eligieron las fechas más aproximadas posibles correspondientes a las fechas de referencia de los transectos (2011, 2012 y 2013 y añadido el dato del transecto histórico de 1990). De todas las escenas fueron escogidas las de mejor calidad y las menos nubosas y las principales características de las imágenes están en el Cuadro 6.1.

Las imágenes disponibles fueron de dos satélites Landsat 5 y 7. El satélite Landsat 5 (fecha de operación 1984-2013) opera con sensor TM (Thematic Mapper) en 7 bandas espectrales, con resolución espacial de 30 m, excepto la banda 6 termal con píxel de 120 m. En las imágenes del Landsat 7 (activo desde 1999) opera el sensor multiespectral ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) en las bandas 1-5 y 7 espectrales visibles e infrarroja cercana con resolución espacial de 30 m, la banda 6 infrarroja termal es de 60 m y la banda 8 pancromática de 15 m. Los sensores TM y ETM+ respectivamente del Landsat 5 y Landsat 7 en el sistema suborbital de sensoramiento remoto o teledetección del infrarrojo térmico registran datos del espectro electromagnético entre 10,4 a 12,5 μm . (U.S. Geological Survey, 2013, <http://landsat.usgs.gov>).

Para extraer las TS fueron utilizados la banda 6, pero no fue posible hacer coincidir las imágenes con los transectos debido a la calidad de las imágenes, por lo que se optó por seleccionar las escenas de mejores resoluciones y lo más próximas posible a las fechas de referencias los transectos, a demás en media hubo una diferencia de 14 días entre las fechas de las imágenes con los transectos tal como aparece en el Cuadro 6.1.

Cuadro 6.1 - Las características de las imágenes Landsat de la zona de Natal y las referencias de los transectos.

TRANSECTO DE REFERENCIA		CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES LANDSAT			
Estación del año	Fecha	Satélite	Sensor	Fecha Hora	Bandas (canal) y Resolución Espacial
Verano	24/01/2013	Landsat 7	ETM	25/01/2013 12:24z	B 1-5 y 7=30 m B 6=60 m B 8=15 m

Primavera	24/10/2012	Landsat 7	ETM	21/10/2012 12:24z	B 1-5 y 7=30 m B 6=60 m B 8=15 m
Invierno	11/07/2012	Landsat 7	ETM	17/07/2012 12:23z	B 1-5 y 7=30 m B 6=60 m B 8=15 m
Otoño	26/04/2012	Landsat 7	ETM	28/04/2012 12:23z	B 1-5 y 7=30 m B 6=60 m B 8=15 m
Verano	26/01/2012	Landsat 7/	ETM	07/01/2012 12:22z	B 1-5 y 7=30 m B 6=60 m B 8=15 m
Primavera	06/10/2011	Landsat 7	ETM	04/11/2011 12:22z	B 1-5 y 7=30 m B 6=60 m B 8=15 m
Invierno	11/07/2011	Landsat 5	TM	23/07/2011 12:17z	B 1-5 y 7=30 m B 6=120 m
Otoño	30/03/1990	Landsat 5	TM	10/05/1990 11:48z	B 1-5 y 7=30 m B 6=120 m

Fuente: U.S. Geological Survey y elaboración propia.

Situaciones meteorológicas dominantes. Las condiciones meteorológicas dominantes en la ciudad de Natal en los días correspondientes a las imágenes están en el Cuadro 6.2. Como se ver, el tiempo en la ciudad casi siempre presentase con mucha nubosidad, que es muy típico de Natal ubicada en el litoral y con la siempre presencia de los vientos alisios corroboran para los cielos nublados. Facto este, que dificulta obtener una imagen libre de los efectos de las nubes.

Cuadro 6.2 - Las condiciones meteorológicas el Natal en los días correspondientes a las imágenes Landsat.

Fecha de la Imagen Landsat	Tmin	Tmax	Probabilidad de Lluvia (%)	Condiciones Meteorológicas
10/05/1990	23,1	30		
23/07/2011	22,3	29,8	80	Lluvia de corta duración y pueden ir acompañados de tormentas en cualquier momento del día.
04/11/2011	25,2	30,6	5	Períodos cortos de sol intercalados por período de nubes.

07/01/2012	25	30,6	5	Sol entre unas pocas nubes
28/04/2012	22,9	30,4	30	Variablemente nublado con la probabilidad (menos del 30%) de lluvias.
17/07/2012	21,1	29	5	Sol entre unas pocas nubes
21/10/2012	22,1	29,4	5	Posibilidad de lluvia, nubosidad variable con baja probabilidad (menos del 30%) de lluvia.
25/01/2013	25	30	5	Parcialmente Nublado y sol entre algunas nubes.

Fuente: Brasil, CPTEC-Centro de Previsión del Tiempo y Estudios Climáticos, 2011, 2012 y 2013, <http://www.cptec.inpe.br/cidades/tempo/235>

El procesamiento de las imágenes térmicas. La metodología para el procesamiento de las imágenes se basó en Chuvieco, (2012, pp. 256-314) y está representada en el Figura 6.1, el procesamiento de las imágenes fue con el programa *ENVI 4.7* y los análisis con el programa *ArcGis10 desktop*. Los sensores del satélite *Landsat Thematic Mapper (TM)* y *Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)* recogen la imagen reflejada por la superficie que procesada adquiere los datos de temperatura y almacenan la información como un número digital (ND) con un rango entre 0 y 255. A su vez, son estimados los valores de los números digitales (ND) de cada imagen a la reflectividad en el techo de la atmósfera o reflectividad aparente ToA (Yale University, 2010).

El paso siguiente fue la corrección del bandeo de la imagen del sensor *Enhanced Thematic Mapper (ETM)* del *Landsat 7* que empezó a presentar fallos a partir de 2007, este bandeo se debe a un mal calibrado del sensor del satélite haciendo aparecer rayas oscuras o claras en las imágenes. Así fue hecho el ajuste digital recomponiendo el histograma de las imágenes con el programa *ENVI 4.7* (Chuvieco, 2012).

La corrección geométrica de las imágenes (Figura 6.2), tiene como finalidad eliminar los efectos de la interferencia de la atmosfera en la temperatura de superficie, fue tomando como referencia una imagen más actual (2013) y a partir de esta referencia el resto de las imágenes fueron georreferenciadas. Se puso como objetivo que el número mínimo de puntos de control por imagen fuese de 15 puntos distribuyéndolos por toda la imagen. Mientras se buscó siempre obtener un error inferior a medio por píxel ($RMS < 0,5$).

Posteriormente se seleccionó una área englobando solamente la ciudad de Natal. Sin embargo las imágenes originales cubren un área de aproximadamente 185 x 185 km (Landsat 5) y 170 x 183 km (Landsat 7), entonces fue recogida el área de la zona de Natal formando un rectángulo a su alrededor.

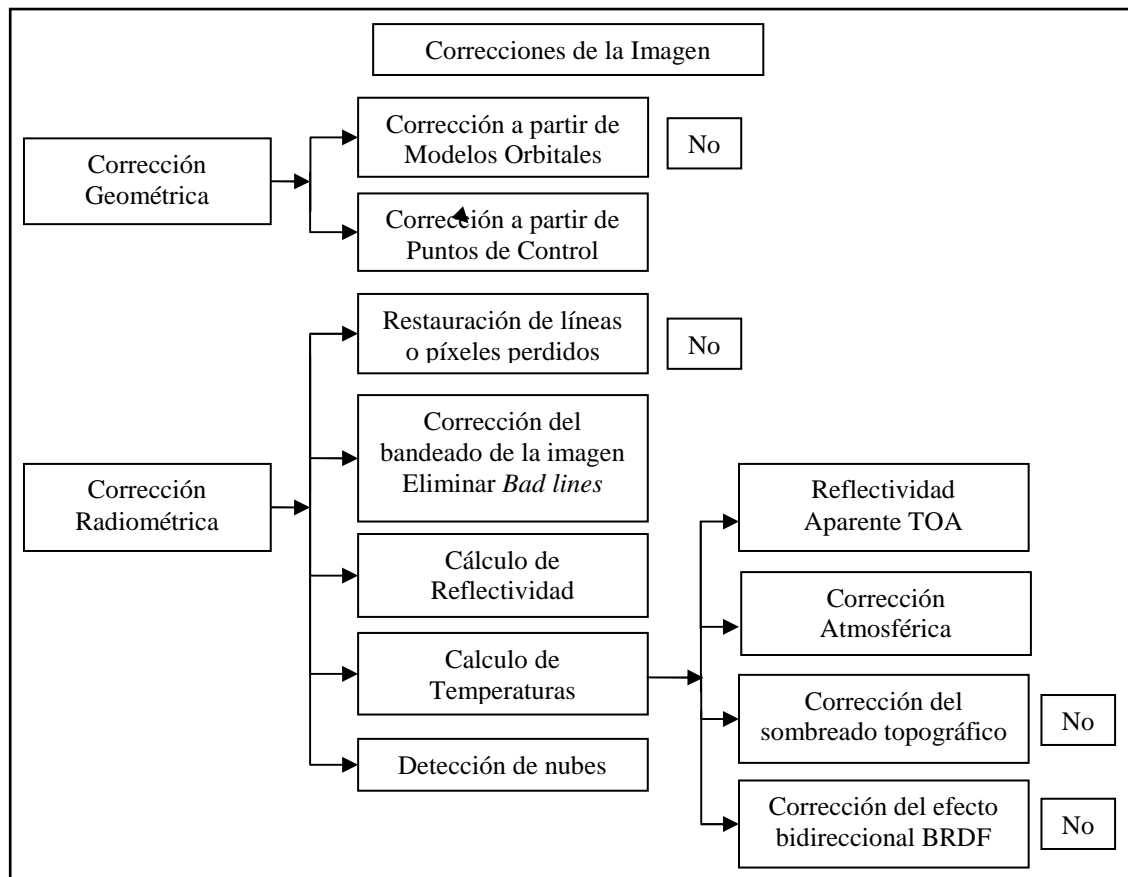


Figura 6.1. Esquema del procesamiento de las imágenes Landsat, con adaptación. Fuente: Chuvieco (2012).

El siguiente paso fue la clasificación mediante valores del NDVI. Es importante señalar que para distinguir entre en suelo urbano y la cubierta de vegetación a través de las imágenes de Landsat en Natal fue complejo debido a que:

- El modelo de ciudad existente en Natal, en su mayoría está formado de casas bajas rodeadas, frecuentemente, por patios cultivados o sin cultivar. La resolución espacial de Landsat (30 m) hace que en un mismo píxel se recoja una superficie de coberturas mixtas.
- Se está usando un sensor multispectral, por lo que las diferencias espectrales de estos materiales no quedan recogidas al 100%.

- A menudo los materiales con los que se cubren los tejados de las casas se confunden con el entorno.

Por todo ello, la clasificación fue mediante valores por el índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI con la siguiente ecuación (Hantson, 2011):

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

Siendo:

NDVI = Normalized Difference Vegetation Index

NIR = Spectral Reflectance Near Infrared

RED = Spectral Reflectance Visible

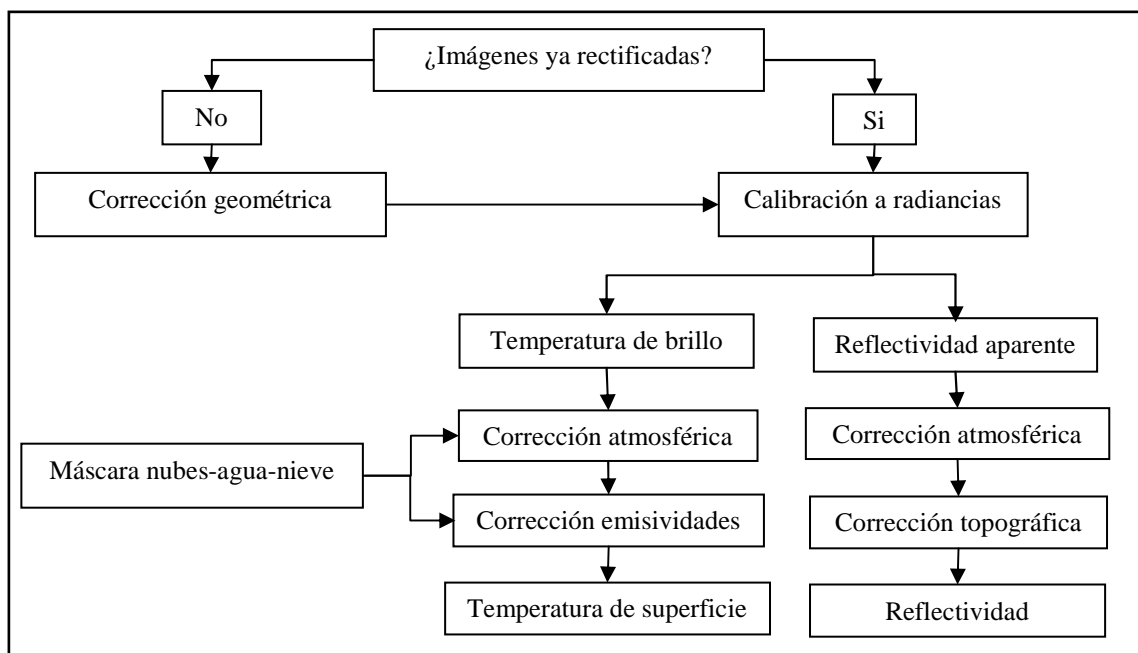


Figura 6.2. El flujo de trabajo para la corrección de las imágenes Landsat. Fuente: Hantson, Chuvieco, et al. (2011).

Y para una mejor interpretación de las imágenes, se optó por digitalizar la superficie de suelo urbano según las imágenes Landsat de cada imagen/año. El objetivo de la clasificación de la cubierta terrestre usando el NDVI fue para diferenciar entre superficies vegetales de alta densidad del resto del área urbana. Esto se hizo comparando sucesivas clasificaciones y comparando los resultados con la visualización en falso color de la imagen Landsat correspondiente, hasta aproximarse lo mejor posible a sus límites.

La variación de los rangos de clasificación se debe a que las imágenes corresponden a diferentes años y estados fenológicos, por lo que un mismo píxel cubierto de vegetación frondosa tendrá diferentes valores de NDVI según las condiciones climáticas o del tiempo previas.

1984-Cobertura de vegetación vigorosa: 0,6 a 1

1990-Cobertura de vegetación vigorosa: 0,7 a 1

2000-Cobertura de vegetación vigorosa: 0,6 a 1

2013-Cobertura de vegetación vigorosa: 0,55 a 1

El último paso fue la determinación de la temperatura de la superficie basado en Martinz Montoya (2010) como muestra el Cuadro 6.3, en el que están representados los pasos que se aplicaron sobre la banda térmica (Banda-6) para cada imagen de la región de la ciudad de Natal y para obtener la temperatura de la superficie.

<p>1. Radiancia = $\frac{L_{\max} - L_{\min}}{255} ND_k + L_{\min} = a_{rk} ND_k + a_{0k}$</p> <p>2. Brillantez o temperatura de brillo = $\frac{K_2}{\ln \left[\frac{K_1}{Radiancia} + 1 \right]}$</p> <p>Donde: $K_1 = 666.09$ y $K_2 = 1282.71$</p> <p>3. Emisividad (Van de Griend y Owe, 1993), $\varepsilon = 1.009 + 0.047 \times \ln NDVI$</p> <p>4. Temperatura, °C = $\left[\frac{Brillantez^4}{Emisividad} \right]^{0.25} - 273$</p>

Cuadro 6.3 - Pasos para obtener las temperaturas de la superficie de la tierra. Fuente: Martinz Montoya, 2010.

Siendo:

Fórmula 1, L=Radiancia espectral; ND=Números digitales; a=área.

Formula 2. K=constante de calibración.

Fórmula 3, ε =emisividad.

La banda del infrarrojo térmico de Landsat transformada a temperatura superficial es muy útil principalmente para obtener las diferencias de temperatura entre las clases de ocupación del suelo, tal y como se ha puesto de manifiesto en otros trabajos (Martínez Montoya, 2010; Sobrino et al, 2009; Fernández García et al, 2013).

Por fin, a partir de las imágenes ráster se obtuvieron las temperaturas superficiales (TS) de cada punto, mediante la combinación de la capa vectorial de

puntos (shapefile) con el ráster de la imagen a través del *extracter values to points* del módulo *Spatial Analyst Tools* del sistema de información geográfica ArGIS 10.

El resultado final se concreta en la generación de 8 mapas de las imágenes térmicas para los análisis de los contrastes térmicos de las islas de calor urbano (ICU) y de las islas de frescor urbanas (IFU) en la ciudad de Natal.

El procesamiento de las imágenes para las islas de calor urbanas superficiales de Natal (ICUS). Los datos utilizados para el análisis de las islas de calor urbanas superficiales de Natal (ICUS) se han calculado a partir de las temperaturas de los números digitales (ND) de los píxeles de las imágenes. El primer paso fue establecer cuál es el umbral de las temperaturas para Natal, esto debido a las temperaturas muy distintas en las imágenes para el cálculo y en particular la continua presencia de las interferencias de nubes en todas las imágenes (Tabla 6.1). Así fue establecido un umbral para obtener las temperaturas de la superficie TS siendo el mínimo de 17°C y el máximo de 44°C. Este umbral fue encuadrado basado en las temperaturas mínimas y máximas absolutas registradas para la ciudad de Natal en las normales climatológicas (1960-1991).

El siguiente paso fue extraer la ICUS de cada imagen ráster. Eso fue deducido a partir del cálculo de los píxeles de las temperaturas superficiales restado de los píxeles de las temperaturas mínimas de la misma imagen, esto es, la diferencia de temperatura en cada pixel con respecto al mínima de la imagen ($TS_{imagen} - TS_{min}$) con el *raster calculator* del módulo *Spatial Analyst Tools* del sistema de información geográfica ArGIS 10 (Tabla 6.1).

El objetivo de los análisis de las islas de calor urbanas superficiales de Natal es obtener los mapas de las intensidades de las ICUS en la superficie de la ciudad. Se espera que haya áreas con valor 0, esto es, las áreas donde la temperatura es igual a la mínima significa que no hay cambios en la temperatura superficial pero también habrá áreas con las temperaturas muy por encima de la mínima que son las áreas con temperatura superficial más calientes de la ciudad y que forman las ICUS.

La clasificación de las ICUA fueron basadas en Fernández (1996) en: Débil cuando las diferencias oscilan entre 0°C y 2°C; Moderada entre 2°C y 4°C; Fuertes entre 4°C y 6°C y Muy Fuerte cuando las diferencias son superiores a 6°C.

Tabla 6.1 - Umbrales y diferencias entre las TS Máximas, Medias y Mínimas de Natal.

Imágenes Landsat	TSmax	TSmed	TSmin	TSmax- TSmin	TSmax- TSmed
10mayo1990	43,98	28,60	17,15	26,83	15,38
23julio2011	42,58	23,18	17,03	25,55	19,4
04noviembre2011	42,09	20,45	17,08	25,01	21,64
07enero2012	43,94	31,31	18,32	25,62	12,63
28abril2012	43,96	31,17	19,73	24,23	12,79
17julio2012	43,84	28,03	19,57	24,27	15,81
21octubre2012	43,80	29,20	17,12	26,68	14,6
25enero2013	43,82	28,28	18,16	25,66	15,54

Fuente: elaboración propia.

Las imágenes térmicas y algunos problemas derivados. Las imágenes de los sensores ET y ETM+ del Landsat son utilizadas para obtener la temperatura radiante o la temperatura de superficie emitida por los objetos a nivel del suelo, aunque este valor suele tener una buena relación con la temperatura de superficie por el sensoramiento remoto en el infrarrojo termal (Jensen, 2007).

Segun Oke y Voogt (2003), la temperatura de la superficie es de primordial importancia para el estudio de la climatología urbana. Por eso, la tecnología de la teledetección orbital térmica está cada vez más presente y ha abierto nuevas vías para estudiar las causas de variaciones térmicas urbanas. Pero también se ha complicado la definición e interpretación de las observaciones. Esto es así porque son muchos los factores que intervienen en la respuesta la temperatura de superficie (TS), entre ellos, las diferentes estructuras y objetos presentes a nivel del suelo y de las cubiertas de las áreas edificadas.

El uso de la temperatura de la superficie (TS) está limitada a la interpretación de la imagen térmica a nivel de las cubiertas de las áreas urbanas. Al contrario de la temperatura del aire (TA), que refleje las condiciones de la atmosfera urbana a través de medidas efectuadas por los termómetros en los transectos, observatorios meteorológicos y estaciones móviles. Hay que destacar que aunque se utilice la temperatura del aire (TA) en el exacto momento de la imagen térmica, los valores de la temperatura de la superficie (TS) solamente sirven para calibrar la imagen, no es posible comparar en

términos absolutos la TS con la TA y hay otro problema adicional cuando ocurre que las islas de calor atmosféricas puedan ser más intensas a la noche (Soares Fialho, 2012).

Como antes mencionados, este estudio, nos limitamos a solamente de hacer uso de comparaciones "relativas" entre las temperaturas de las imágenes (TS) y las temperaturas del aire medido por un termómetro a 1,5 m del suelo (TA). Por lo tanto, se intenta comparar la distribución espacial de las variaciones de temperaturas y el área urbana de Natal.

Con relación a las fechas diferentes entre las temperaturas de las imágenes TS será considerada aceptable llevando en consideración los siguientes puntos: (i) las condiciones meteorológicas de Natal no sufren cambios tan considerables en tan corto período de tiempo (Cuadro 6.2), (ii) además hay una imposibilidad de coincidir las escenas entre las mismas fechas debido a la gran cantidad casi siempre presente de nubes en la atmósfera de Natal, (ii) la presencia de nubosidad imposibilita el tipo de tratamiento y análisis térmicos desarrollados en este estudio, (iv) las imágenes de Landsat son de distribución gratuita, (v) por fin, para una imagen de mejores resoluciones coincidiendo las mismas fechas han de ser compradas, hecho este no contemplado en este estudio.

Considerando las cuestiones anteriores se procedió a un análisis para verificar el grado de correlación entre las temperaturas de superficie (TS) de la imagen Landsat con la temperatura de la superficie del objeto (TO) en el mismo punto de muestreo, pero medida con un termómetro laser. La finalidad de este procedimiento fue para comprobar la correlación entre las TS y TO. Así, desconsiderando la diferencia de tres días entre los muestreos y las condiciones meteorológicas se procedió a un análisis de la correlación entre estas temperaturas (Figura 6.4)

Las correlaciones se han basado en Mafokozi (2009) que presenta los valores absolutos de los coeficientes de correlación a los que asigna las siguientes valoraciones cualitativas de correlaciones, siendo: $\leq 0,50$ Baja, 0,50 a 0,70 Moderada, 0,70 a 0,86 Alta y $\geq 0,86$ Muy alta.

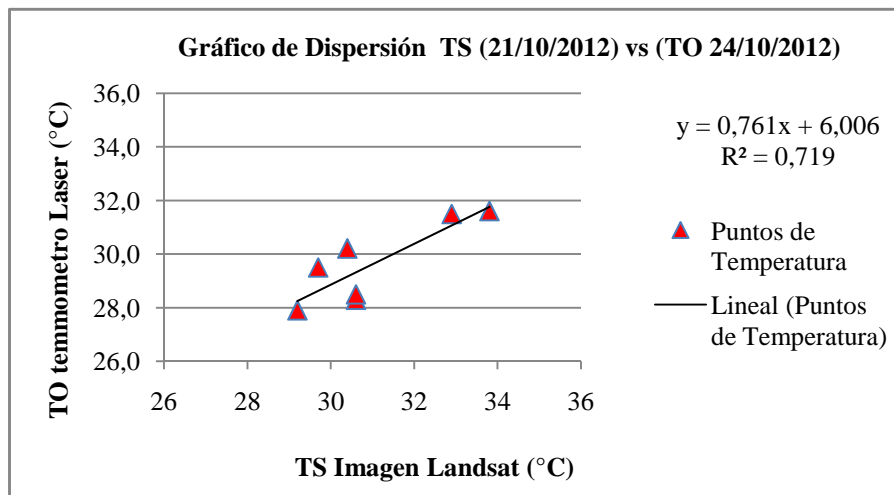


Figura 6.4 - Gráfico de dispersión de las temperaturas del suelo (TS) de la imagen Landsat en 21 de octubre de 2012 y temperaturas del objeto (TO) con termómetro laser de 24 de octubre de 2012, de Natal. Fuente: elaboración propia.

Así, se permitió la obtención de una conglomeración de los datos entre el rango de 27,9°C a 33,8°C el R2 y la ecuación de regresión con R^2 de 0,719 (71,9%) que presenta una correlación con un nivel de significancia alto. Ese resultado, compraba y confirma el uso de las TS para determinar las islas de calor urbanas superficiales (ICUS) de Natal.

6.3. LA DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LAS ISLAS DE CALOR DE SUPERFÍCIE (ICUS) DE NATAL

Este apartado trata de la caracterización de los patrones de distribución de las islas de calor urbanas superficiales (ICUS) de Natal. Para eso, se han extraído los valores que reflejan las temperaturas de la superficie calculadas a partir de la medición de los números digitales ND de cada imagen de Landsat.

A efectos de explicar la variabilidad espacial de los patrones de distribución de las TS de la ciudad, fue conveniente establecer el análisis en pares correspondientes a cada estación del año. Así, fueron emparejadas los dos meses referentes a cada una de las cuatro estaciones entre los años de 2011, 2012 y 2013.

No obstante, es importante señalar que en primer lugar fueron seleccionadas las dos imágenes de cada estación y analizadas las temperaturas de la superficie (TS). En segundo lugar fue establecido las correlaciones entre los valores de las temperaturas de superficie (TS) de las imágenes y de las temperaturas del aire (TA) de los transectos y por último fue analizadas las islas de calor urbanas superficiales (ICUS) de Natal.

6.3.1. La isla de calor urbana superficial de Natal en Invierno

Las temperaturas de la superficie de Natal en el período de invierno o período de las lluvias se muestran en la Figura 6.5 correspondiente al día 23 de julio de 2011 (a las 12:17 horas) y la Figura 6.6 de 17 de julio de 2012 (12:23 horas).

La En el día 23 de julio de 2011 (Figura 6.5) el tiempo en la ciudad se caracterizó por muchas nubes, cortos períodos de sol y lluvia en cualquier momento del día (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013). En la imagen se destaca en casi todo la ciudad la coloración entre azul y verde que representan temperaturas entre los 19 a 26°C que de hecho reflejan un día lluvioso en la ciudad. No están presentes temperaturas de la superficie cálidas pero en la zona central de la ciudad es visible la presencia de la coloración entre amarilla y verde que representan temperaturas entre los 29 a 34°C. Al contrario, en el Parque de las Dunas (al este) y en las orillas del río Potengi (en el Centro) es donde están las temperaturas más bajas entre los 19 a 21°C, porque son áreas con la presencia de una vegetación densa y natural y la otra un área de mucha humedad.

El día 17 de julio de 2012 (Figura 6.6) la ciudad presentaba en este día el tiempo con sol entre pocas nubes (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2013).

En la imagen se destacan áreas térmicas poli-concéntricas. Esto es, son puntos de coloración entre azul y amarillo que representan temperaturas entre los 21 a 35°C en el Centro, zona Norte y Sur. En la zona central de la ciudad y en otros puntos aislados de colores naranjas estos representan temperaturas de la superficie cálidas entre 35 y 37 °C. Al contrario en el Parque de las Dunas (al este) y en las orillas del río Potengi (al Centro) es donde están las temperaturas más bajas entre los 19 a 25°C que son áreas verdes y húmedas.

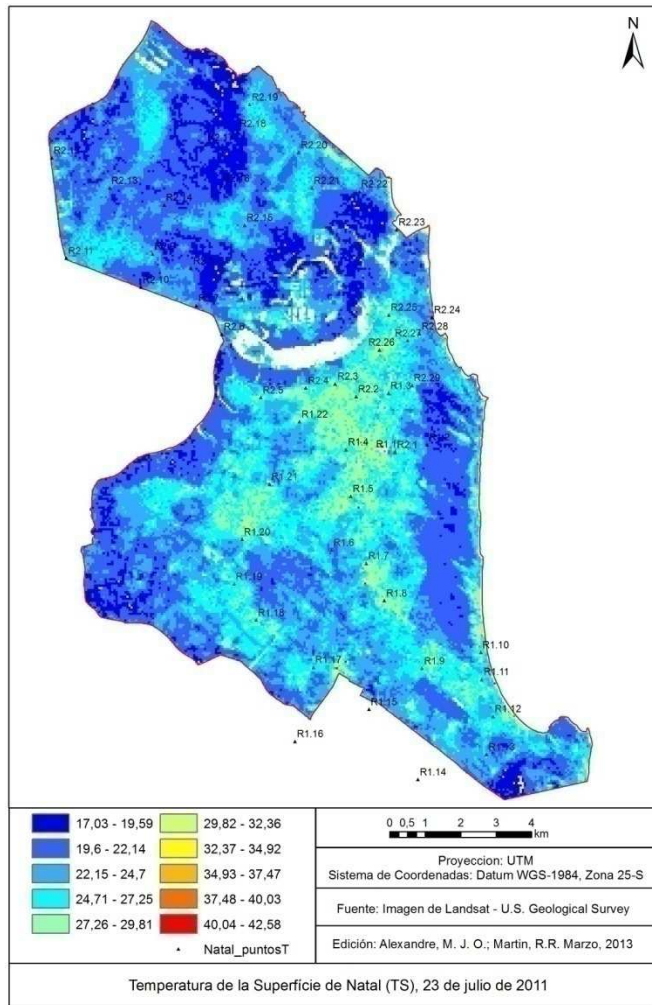


Figura 6.5. Mapa de la temperatura de la superficie de Natal, 23 de julio de 2011. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.

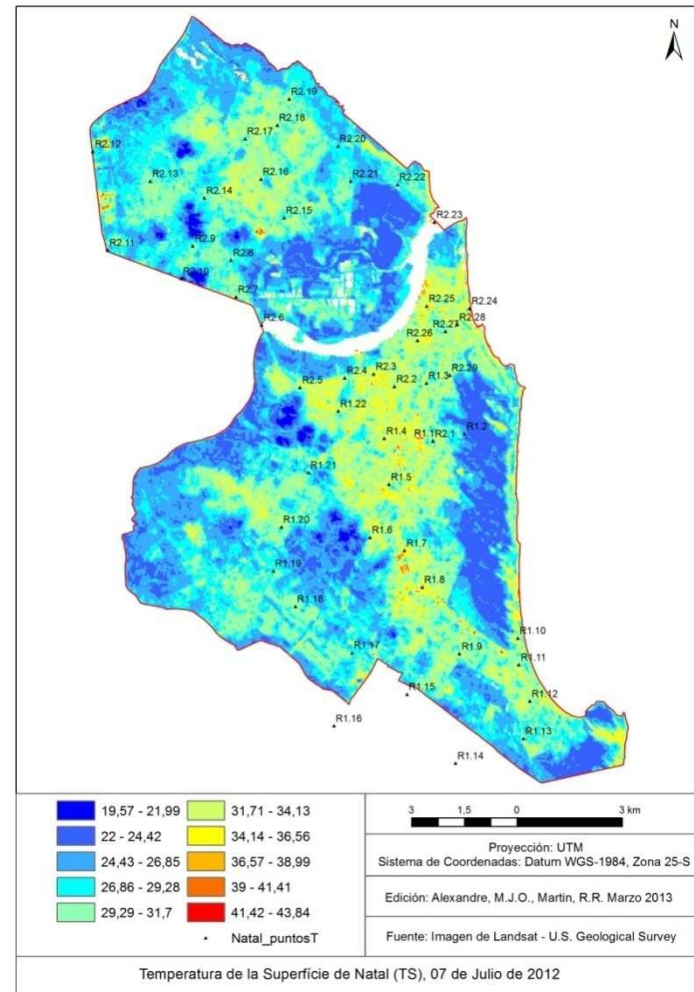


Figura 6.6. Mapa de la temperatura de la superficie de Natal, 17 de julio de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.

6.3.1.1. Correlaciones entre las temperaturas del aire (TA) y las temperaturas de la superficie (TS) de Natal en invierno

Las temperaturas del aire (TA) de los transectos y las temperaturas de la superficie (TS) de la imagen Landsat, ambos de los meses de julio de 2011 y julio de 2012 en Natal se puede ver en el Apéndices (Tabla A1, A5 y A8). Se observa en la representación del Gráfico 6.7, por una parte, que las TS y TA están dentro del rango entre 21,2°C a 34,2°C y los seguimientos de líneas muestran en general una tendencia de no concordancia entre los datos, mientras que dos 51 puntos hay 9 concordantes, eso representa 17% de coincidencia entre los valores de TS y TA.

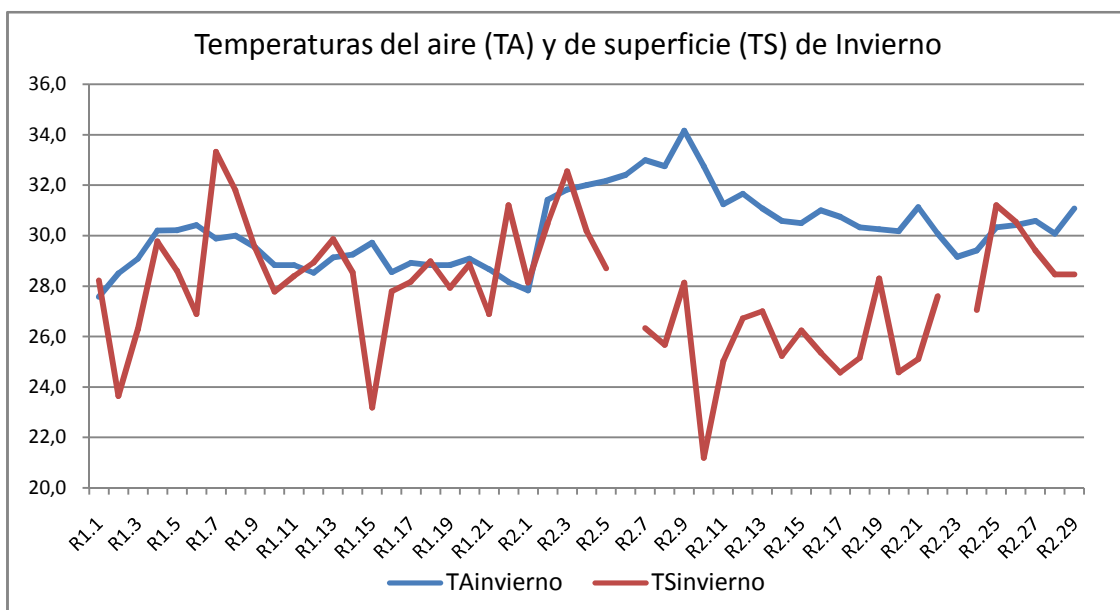


Figura 6.7. Temperaturas del aire (TA) de los transectos y las temperaturas de la superficie (TS) de la imagen Landsat de Invierno. Fuente: elaboración propia.

Aún para aclarar los datos se procedió a un análisis de la dispersión entre las temperaturas del aire (TA) y de la superficie (TS) (Figura 6.8) que se permitió la obtención de una conglomeración de valores de las temperaturas entre el rango de 21,2°C a 34,2°C pero en la mayoría los valores están dentro de una agrupación de temperaturas dentro del rango entre los 24°C a 32°C. La regresión presenta una correlación con un nivel de significancia bajo (inferior al 3% de la varianza) pero la línea de tendencia sugiere que las temperaturas están representativas y en ningún caso con valores por encima o abajo fuera del rango .

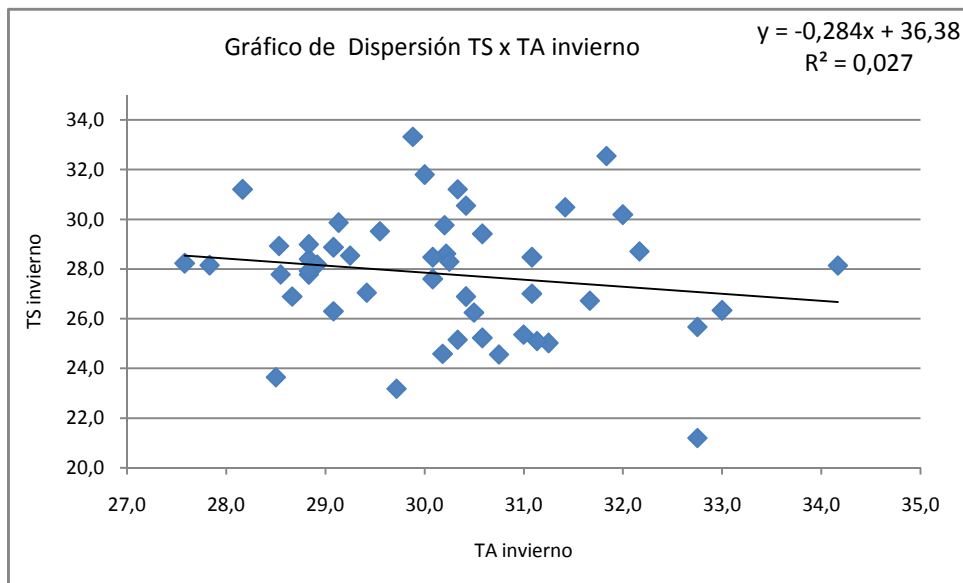


Figura 6.8 - Gráfico de dispersión de las temperaturas de superficie (TS) y temperaturas atmosféricas (TA) de Natal, julio de 2011 y julio 2012. Fuente: elaboración propia.

6.3.1.2. La caracterización de la isla de calor urbana superficial de Natal en Invierno

La distribución de las temperaturas en el período estacional de invierno en el mes de julio aparece destacada en las Figuras 6.9 y 6.10. En ellas se reflejan en primer lugar el factor condicionado al período lluvioso como también que es el período de las temperaturas más amables en la región.

En la Figura 6.9 del día 23 de julio de 2011 la distribución de las temperaturas evidencian la presencia en casi toda la ciudad de los colores del azul al cian y esto permite estimar las temperaturas entre 0 y 14°C por encima de la mínima. Sin embargo, está señalada la presencia de tres núcleos de ICUS, la más grande y evidente está en el Centro, la otra en la zona Oeste que está muy destacada entre los puntos R1.20 y R1.21 y la otra al Sur de forma más alargada, en los tres casos con temperaturas entre los 11°C a 20°C por encima de la mínima.

Del mismo modo, en la Figura 6.10 del día 7 de julio de 2012 se muestran con los colores predominantes entre el azul y el cian que representan las temperaturas entre el cero y 20°C por encima de la mínima. En la figura están presentes cuatro núcleos de ICUS en la zona Norte, Oeste, Sur y Centro, pero la más intensa es del Centro de la ciudad, en todos los casos con temperaturas entre los 12°C y 20°C por encima de la mínima.

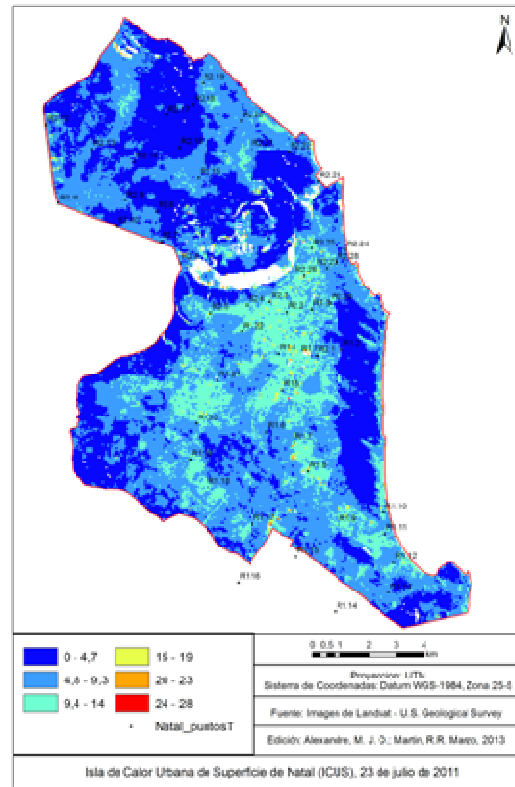


Figura 6.9. Mapa de la isla de calor urbano superficial de Natal (ICUS), 23 de julio de 2011. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.

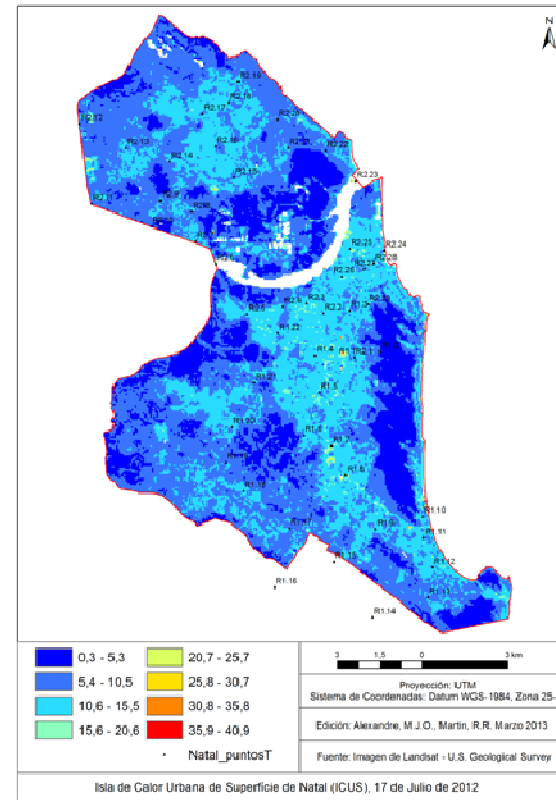


Figura 6.10. Mapa de la isla de calor urbano Superficial de Natal (ICUS), 17 de julio de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.

6.3.2. La isla de calor urbana superficial de Natal en Primavera

La Figura 6.11 del día 4 de noviembre de 2011 (a las 12:22 horas) y la Figura 6.12 del día 21 de octubre de 2012 (a las 12:24 horas) muestran las imágenes de las temperaturas de la superficie de Natal respectivamente del período de primavera o el período de sequía donde en principio debería ser un período de pocas nubes y sin lluvias el Natal.

La Figura 6.11 la ciudad presentaba en este día las condiciones de tiempo con muchas nubes, con períodos cortos de sol intercalados con períodos de nubes (INMET, <http://tempo.cptec.inpe.br>). En la imagen se destaca en casi toda la ciudad la coloración blanca y una pequeña área en el Centro de la ciudad entre azul y verde, que representan temperaturas entre los 19 a 26°C. De hecho, la imagen refleja un día muy nuboso en la ciudad, por eso, en esta imagen se considerará solamente el área central.

La Figura 6.12 la ciudad presentaba tiempo con nubosidad variable con baja probabilidad (menos de 30%) de lluvia (INMET, <http://tempo.cptec.inpe.br>). La configuración térmica está bien representada en toda el área urbana de la ciudad con los colores entre verde a naranja que representan un rango de temperaturas entre 31 y 38°C y en el Centro-Sur y zona Norte la presencia de puntos de colores rojos que representa temperaturas muy cálidas entre 38 y 41°C. Destacan las islas de frescor térmicas con más bajas temperaturas en el Parque de las Dunas (al Este), Parque de la Ciudad (al Sur) y en las orillas del río Potengi (al Centro), donde están las temperaturas más bajas entre los 19 a 26°C, porque son áreas verdes y húmedas.

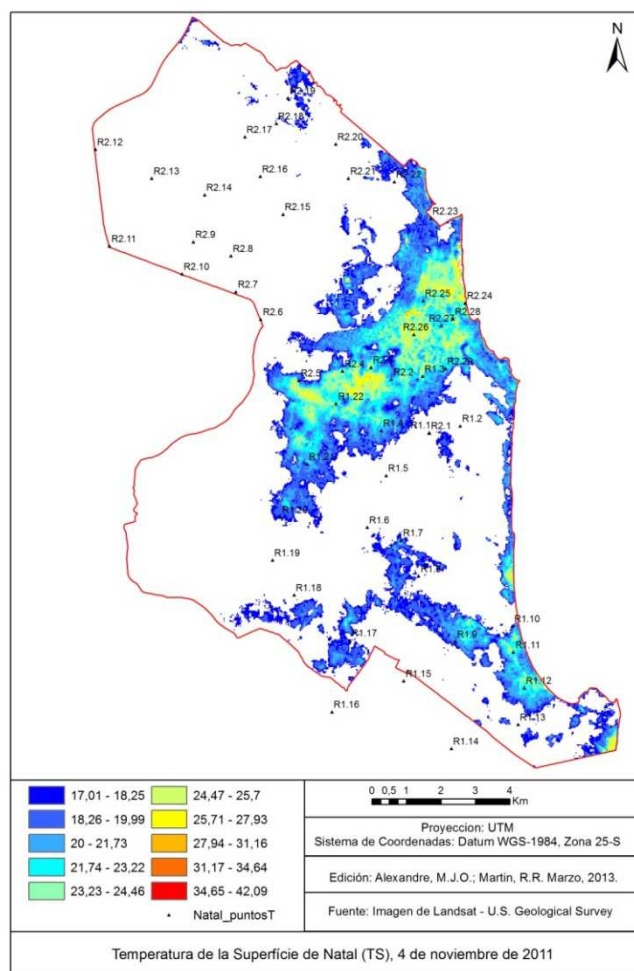


Figura 6.11. Mapa de la temperatura de la superficie de Natal (TS), 4 de noviembre de 2011. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.

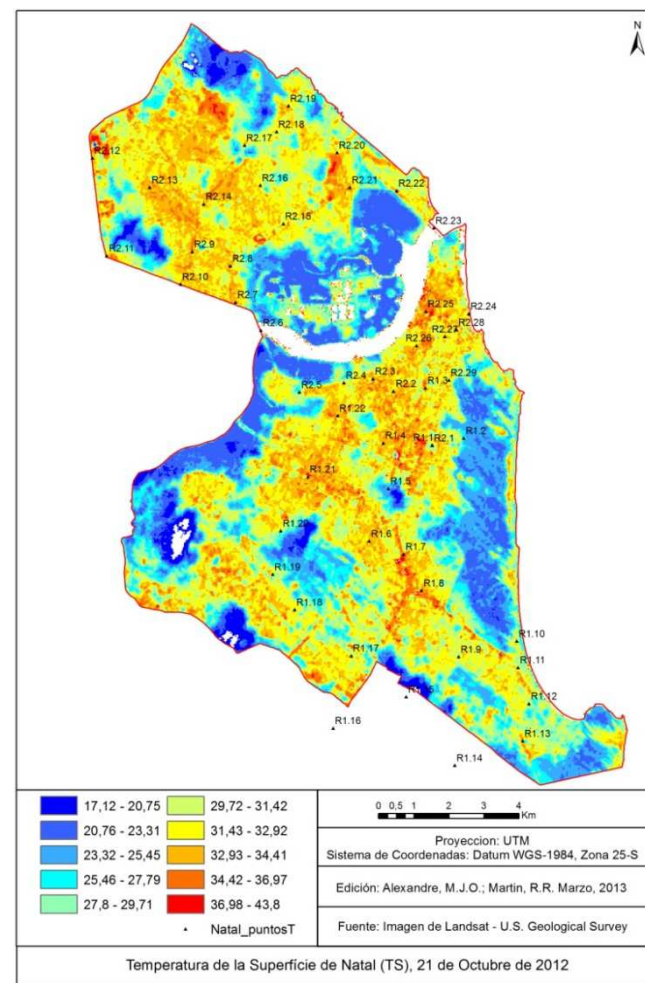


Figura 6.12. Mapa de la temperatura de la superficie de Natal (TS), 21 de octubre de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey

6.3.2.1. Correlaciones entre las temperaturas del aire (TA) y las temperaturas de la superficie (TS) de Natal en primavera

Las temperaturas del aire (TA) de los transectos y las temperaturas de la superficie (TS) de la imagen Landsat, ambos de los meses de octubre de 2011 y octubre de 2012 en Natal se puede ver en el Apéndices (Tabla A2, A6 y A8). Se observa en la representación del Gráfico 6.13, por una parte, que las TS y TA están dentro del rango entre 17,3°C a 41°C y los seguimientos de líneas muestran en general una tendencia de no concordancia entre los datos, mientras que dos 51 puntos hay 11 concordantes, eso representa 22% de coincidencia entre los valores de TS y TA.

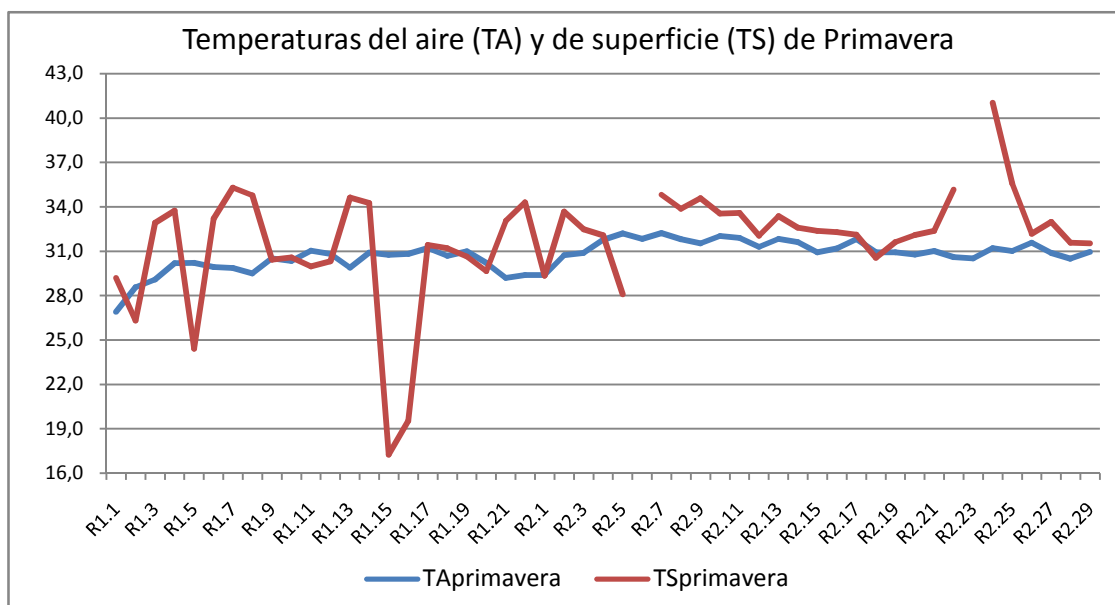


Figura 6.13. Temperaturas del aire (TA) de los transectos y las temperaturas de la superficie (TS) de la imagen Landsat de Primavera. Fuente: elaboración propia.

La Figura 6.14 muestra un análisis de la dispersión de los datos. Una mirada en estos datos permitió ver la obtención de una conglomeración de todos los valores de las temperaturas entre un rango de 17,3 a 41°C pero en la mayoría los valores están dentro de una agrupación de temperaturas dentro del rango entre los 28°C a 35°C y en ningún caso con valores por encima de 41°C o fuera del rango. La regresión presenta una correlación con un nivel de significancia bajo ((inferior al 3% de la varianza) pero la línea de tendencia sugiere que las temperaturas están representativas y en ningún caso con valores por encima o abajo fuera del rango .

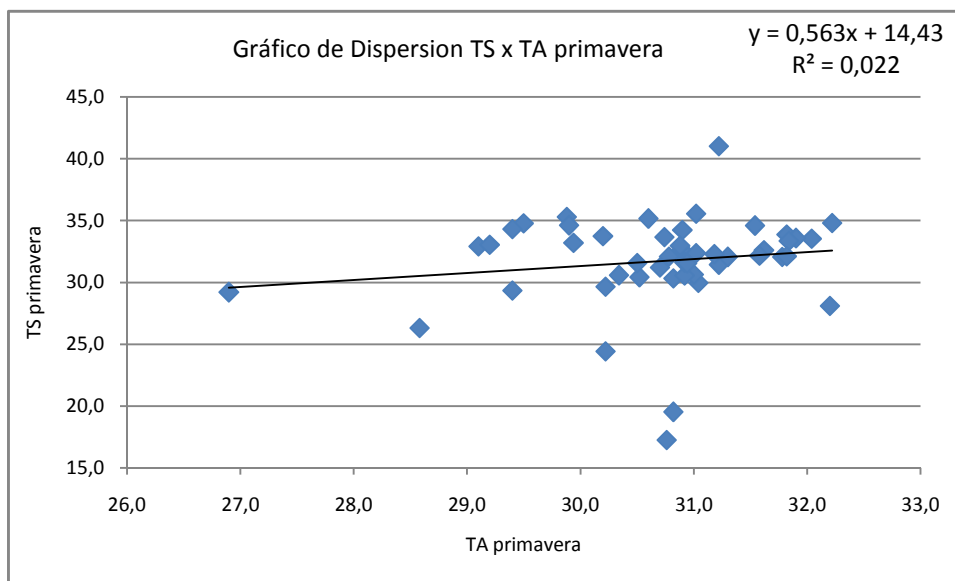


Figura 6.14 - Gráfico de dispersión de las temperaturas de superficie (TS) y temperaturas atmosféricas (TA) de Natal, octubre de 2011 y octubre 2012. Fuente: elaboración propia.

6.3.2.2. La caracterización de la isla de calor urbana superficial de Natal en Primavera

La distribución de las temperaturas en el período estacional de primavera en los meses de noviembre y octubre aparecen respectivamente en las Figuras 6.15 y 6.16. Los principales factores de este período son el período estival y de temperaturas más calientes en la región.

La Figura 6.15 del día 4 de noviembre de 2011 no será tomada en consideración en el análisis de las temperaturas superficiales en toda la imagen, debido a su baja información térmica superficial, pero es posible aún destacar las temperaturas del Centro de la ciudad.

En la Figura 6.16 del día 21 de octubre de 2012 la distribución de las temperaturas está muy bien perceptible y marcada en casi toda la ciudad de los colores del azul al cian y esto permite estimar las temperaturas entre cero y 22°C por encima de la mínima. Dicha imagen permite señalar la presencia de dos núcleos de ICUS. El primero localizado en toda la zona Norte y el otro muy alargado en el Centro Sur de la ciudad. En todos los casos con temperaturas muy marcadas entre los 17°C a 22°C por encima de la mínima.

Para las temperaturas más bajas están centradas en los mismos sitios. Al Este en el Parque de las Dunas, al sur en el Parque de la Ciudad y en el área verde de Ponta

Negra, al oeste y Centro en las orillas de los Manglares del río Potengi y al norte en las áreas verdes.

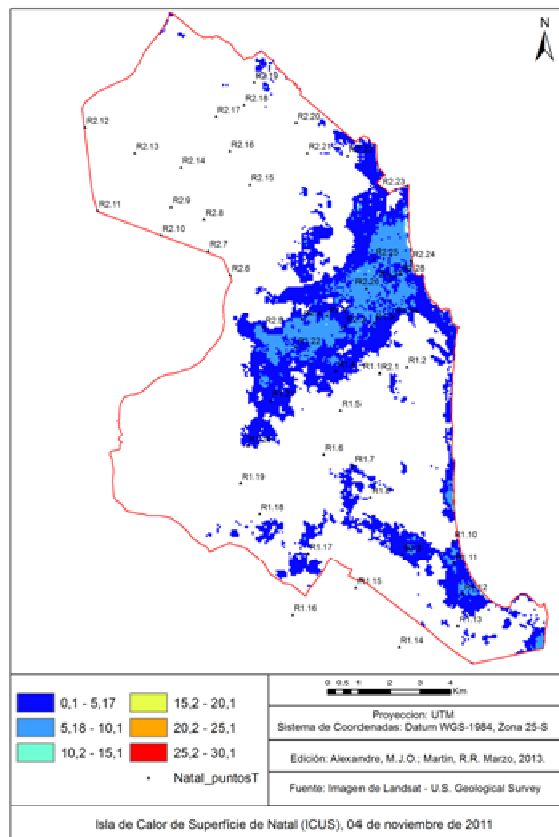


Figura 6.15. Mapa de la isla de calor urbano superficial de Natal (ICUS), 4 de noviembre de 2011. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.

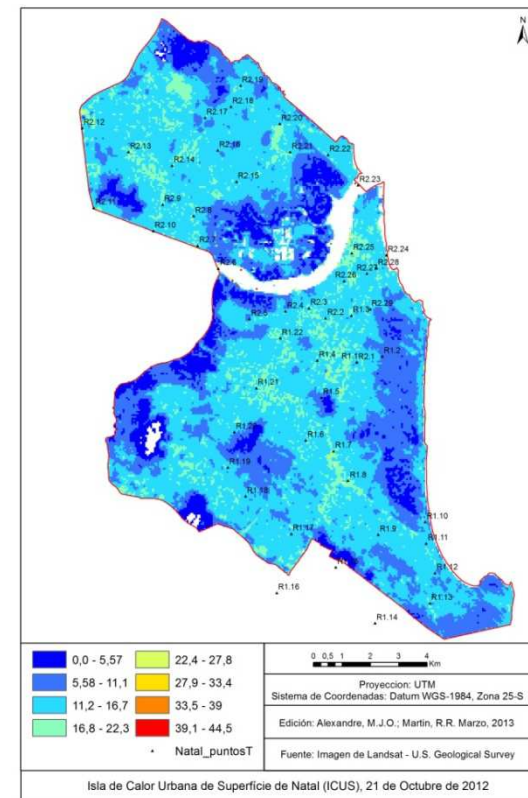


Figura 6.16. Mapa de la isla de calor urbano superficial de Natal (ICUS), 21 de octubre de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.

6.3.3. La isla de calor urbana superficial de Natal en Verano

La Figura 6.17 del día 7 de enero de 2012 (a las 12:22 horas) y la Figura 6.18 del día de 25 de enero de 2013 (a las 12:24 horas) muestran las temperaturas de la superficie de Natal en imágenes del período de verano, que es un período caliente y de pocas lluvias en la ciudad.

Según la Figura 6.17 la ciudad presentaba en este día las condiciones de tiempo despejado con mucho sol y algunas nubes (INMET, <http://tempo.cptec.inpe.br>). La configuración térmica está bien representada en toda el área urbana de la ciudad con los colores entre verde y naranja que representan un rango de temperaturas entre 31 y 38°C y en el Centro-sur y zona Norte la presencia de puntos de colores rojos que representan temperaturas muy cálidas entre 38 y 41°C. Destacan las islas de frescor térmicas con más bajas temperaturas en el Parque de las Dunas (al este), Parque de la Ciudad (al Sur) y en las orillas del río Potengi (al Centro), donde están las temperaturas más bajas entre los 19 a 26°C, porque son áreas verdes y húmedas.

En la Figura 6.18 la ciudad presentaba en este día las condiciones de tiempo parcialmente nublado con sol entre pocas nubes (INMET, <http://tempo.cptec.inpe.br>). La configuración térmica de la ciudad está muy bien representada para toda el área urbana, con los colores entre amarillo y naranja que representan un rango de temperaturas entre 32 y 39°C y en las cuatro zonas de la ciudad, el Centro, Sur, Norte y Oeste están muy presentes los puntos de colores rojos que representa temperaturas muy cálidas entre 39 y 41°C. Y destacan las islas de frescor térmicas con más bajas temperaturas en el Parque de las Dunas (al Este), Parque de la Ciudad (al Sur) y en las orillas del río Potengi (al Centro) es donde están las temperaturas más bajas entre los 19 a 27°C, porque son áreas verdes y húmedas.

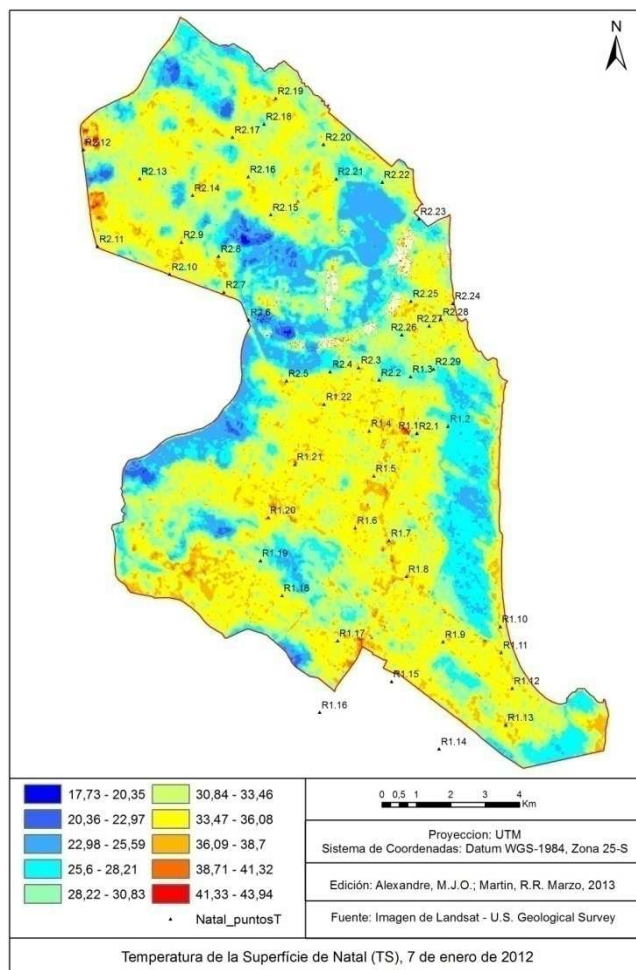


Figura 6.17. Mapa de la temperatura de la superficie de Natal, 7 de enero de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.

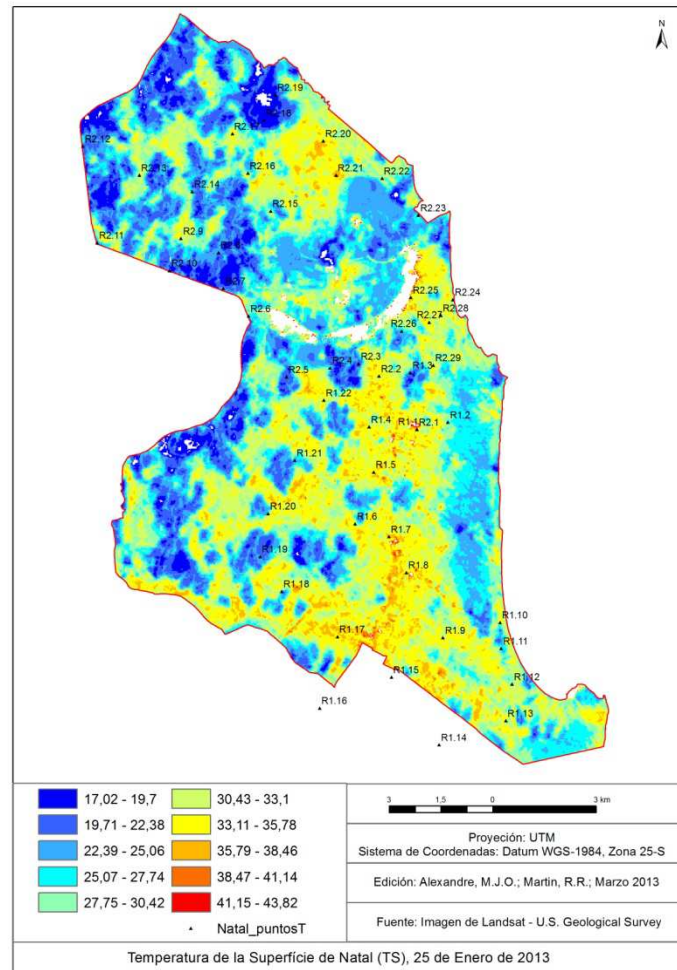


Figura 6.18. Mapa de la temperatura de la superficie de Natal, 25 de enero de 2013. Fuente: i de Landsat, US Geological Survey

6.3.3.1. Correlaciones entre las temperaturas del aire (TA) y las temperaturas de la superficie (TS) de Natal en verano

Las temperaturas del aire (TA) de los transectos y las temperaturas de la superficie (TS) de la imagen Landsat, ambos de los meses de enero de 2012 y enero de 2013 en Natal se puede ver en el Apéndice (Tabla A3, A7 y A8). El Gráfico 6.19 está representado la relación de las TS y TA, el resultado muestra que valores están en un rango entre de 23,3°C a 38,6°C y los seguimientos de líneas muestran en general una tendencia de no concordancia entre los datos, mientras que dos 51 puntos hay 11 concordantes, eso representa 22% de coincidencia entre los valores de TS y TA.

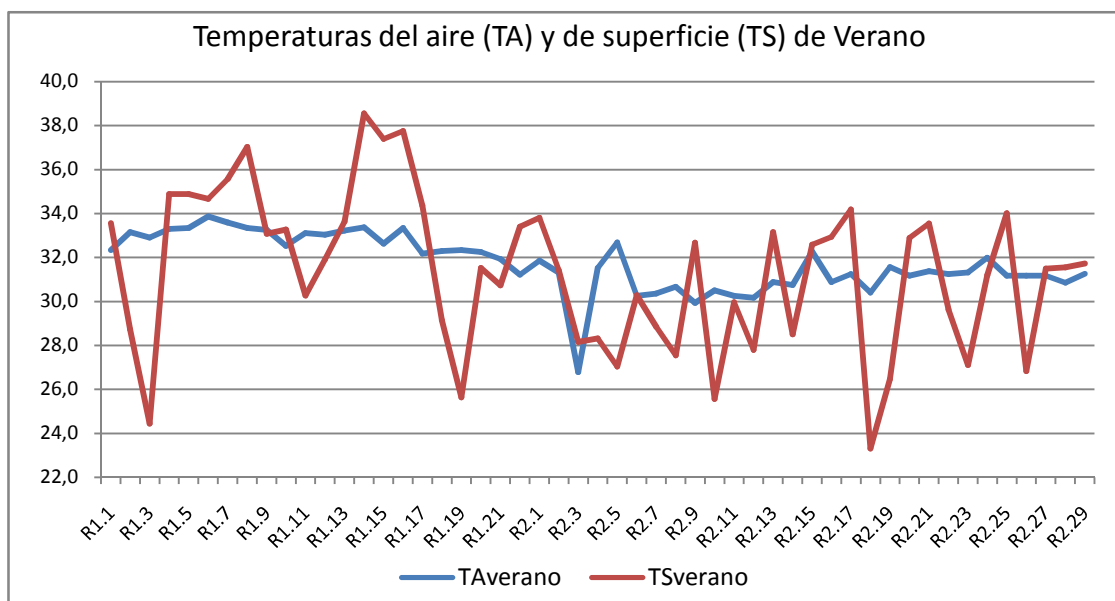


Figura 6.19. Temperaturas del aire (TA) de los transectos y las temperaturas de la superficie (TS) de la imagen Landsat de Primavera. Fuente: elaboración propia.

El análisis de la dispersión de los datos están en la Figura 6.20 que se permitió la obtención de una conglomeración de las temperaturas entre el rango de 23,3°C a 38,6°C, pero en la mayoría los valores están dentro de una agrupación de temperaturas dentro del rango entre los 26,5°C a 34,5°C y en ningún caso con valores por encima de 38,6°C o fuera del rango. La regresión presenta una correlación con un nivel de significancia bajo ((inferior al 20% de la varianza) pero la línea de tendencia sugiere que las temperaturas están representativas y en ningún caso con valores por encima o abajo fuera del rango .

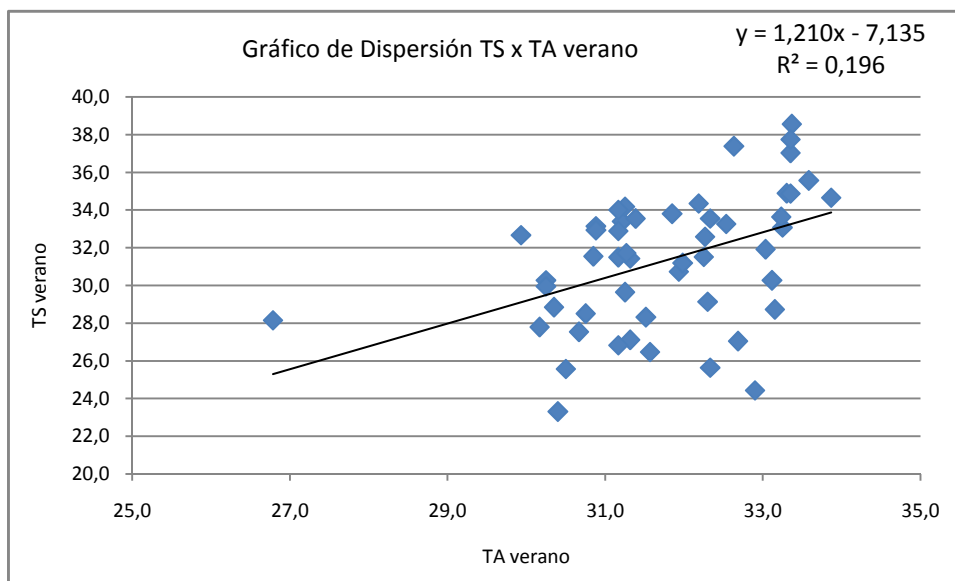


Figura 6.20 - Gráfico de dispersión de las temperaturas de superficie (TS) y temperaturas atmosféricas (TA) de Natal, enero de 2012 y enero de 2013. Fuente: elaboración propia.

6.3.3.2. La caracterización de la isla de calor urbana superficial de Natal en Verano

La distribución de las temperaturas en el período estacional de verano en el mes de enero aparece respectivamente en las Figuras 6.21 y 6.22. Los principales factores de este período son el período estival y de temperaturas más calientes en la región.

En la Figura 6.21 del día 7 de enero de 2012 la distribución de las temperaturas evidencia la presencia en casi toda la ciudad de los colores del azul claro al amarillo verdoso y esto permite estimar las temperaturas entre los 11°C y 24°C por encima de la mínima. Sin embargo, está señalada la presencia de dos núcleos de ICUS, el primero en la zona Norte y el segunda una isla muy alargada en el Centro que se extiende al Sur de la ciudad. Destacan puntos de colores amarillos que representan temperaturas entre 23°C y 28°C por encima de la mínima.

La Figura 6.22 del día 25 de enero de 2013 indica la predominancia de colores entre los tonos cian y beige en el área central de la ciudad, hecho que representa las temperaturas entre 17°C y 25°C mayores que la temperatura mínima. De igual forma, no considerando la presencia de los colores azul intenso (interferencias de la nubosidad), se manifiesta la presencia de dos ICUS en la ciudad, la primera en la zona Norte y otra isla alargada en el Centro Sur de la ciudad. Sin embargo, la presencia incluso de colores naranjas y hasta el rojo en puntos del Centro y en la zona Sur de la

ciudad representan las preocupantes temperaturas entre 34°C a 42°C por encima de la mínima.

Para las temperaturas más bajas están centradas en los mismos sitios. Al Este en el Parque de las Dunas, al sur en el Parque de la Ciudad y en el área verde de Ponta Negra, al oeste y Centro en las orillas de los Manglares del río Potengi y al norte en las áreas verdes.

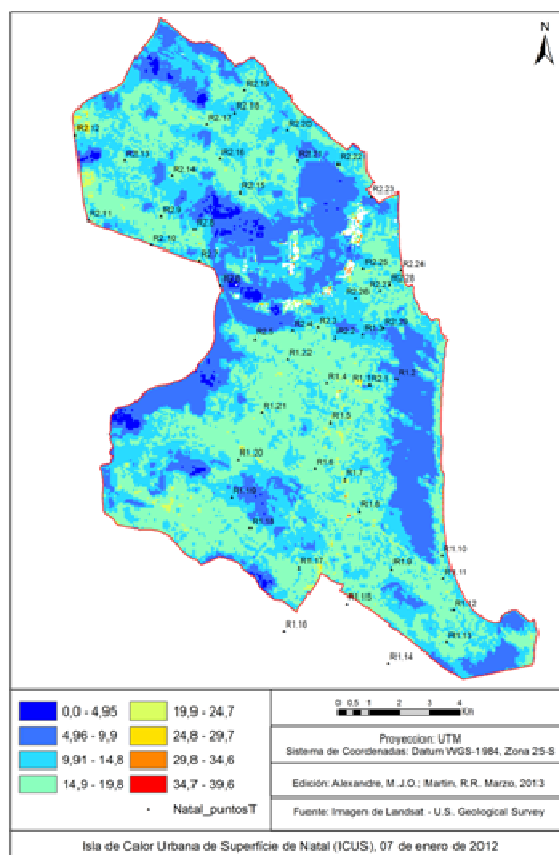


Figura 6.21 Mapa de la isla de calor urbano superficial de Natal (ICUS), 7 de enero de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.

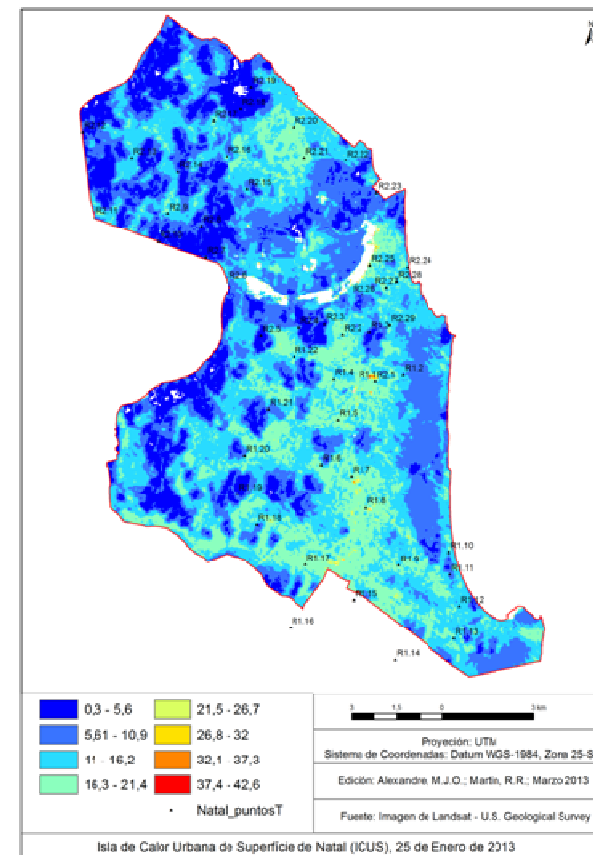


Figura 6.22. Mapa de la isla de calor urbano superficial de Natal (ICUS), 25 de enero de 2013. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey

6.3.4. Temperatura de superficie de Natal en Otoño

La Figura 6.23 del día 28 de abril de 2012 (a las 12:23 horas) muestra las temperaturas de la superficie de Natal en el período de otoño, que es un período caliente y de sequía en la ciudad.

En este día la ciudad presentaba las condiciones de tiempo variablemente nublado con la probabilidad (menos del 30%) de lluvias (INMET, <http://tempo.cptec.inpe.br>). La configuración térmica de la ciudad está bien representada para toda el área urbana en la Figura 6.23, con los colores entre amarillo y naranja que representan un rango de temperaturas entre 31 y 38°C presentes en las cuatro zonas de la ciudad, el Centro, Sur, Norte y Oeste. Los puntos de colores rojos representan las temperaturas muy cálidas entre 38 y 40°C y presentes en especial en el Centro de la ciudad y en la zona Sur. Las islas de frescor térmicas con temperaturas entre los 24 y 29°C en el Parque de las Dunas (al este), Parque de la Ciudad (al Sur) y en las orillas del río Potengi (al Centro) pero llama atención que solamente en la zona Norte es donde están las temperaturas más bajas entre los 19 y 24°C, aunque en todas estas áreas haya áreas verdes y húmedas.

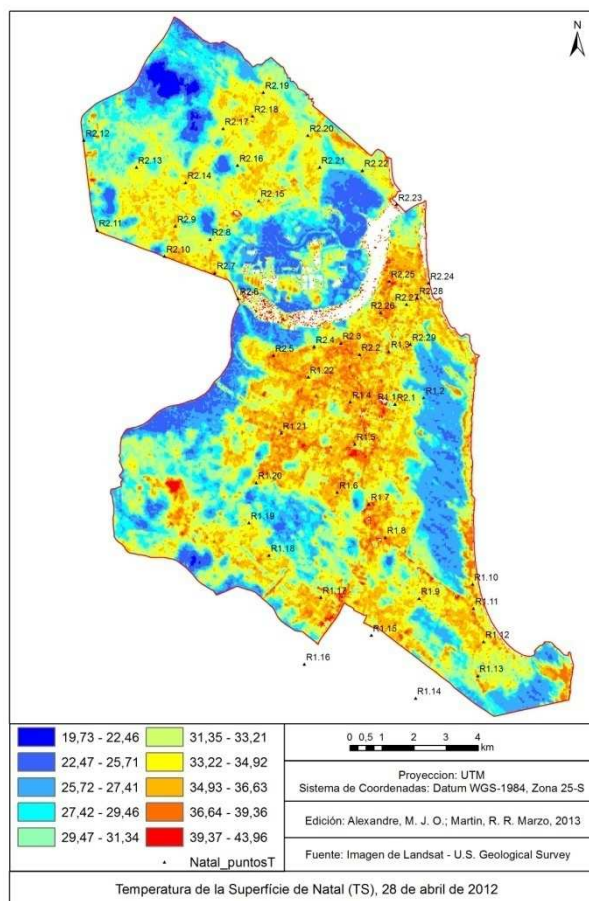


Figura 6.23. Mapa de la temperatura de la superficie de Natal, 28 de abril de 2012.
Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.

6.3.4.1. Correlaciones entre las temperaturas del aire (TA) y las temperaturas de la superficie (TS) de Natal en Otoño

Las temperaturas del aire (TA) de los transectos y las temperaturas de la superficie (TS) de la imagen Landsat, ambos del mes de abril de 2012 en Natal se puede ver en el Apéndices (Tabla A4 y A8). Se observa en la representación del Gráfico 6.24, por una parte, que las TS y TA están dentro del rango entre 28°C a 42,2°C y los seguimientos de líneas muestran en general una tendencia de no concordancia entre los datos, mientras que dos 51 puntos hay 9 concordantes, eso representa 14% de coincidencia entre los valores de TS y TA.

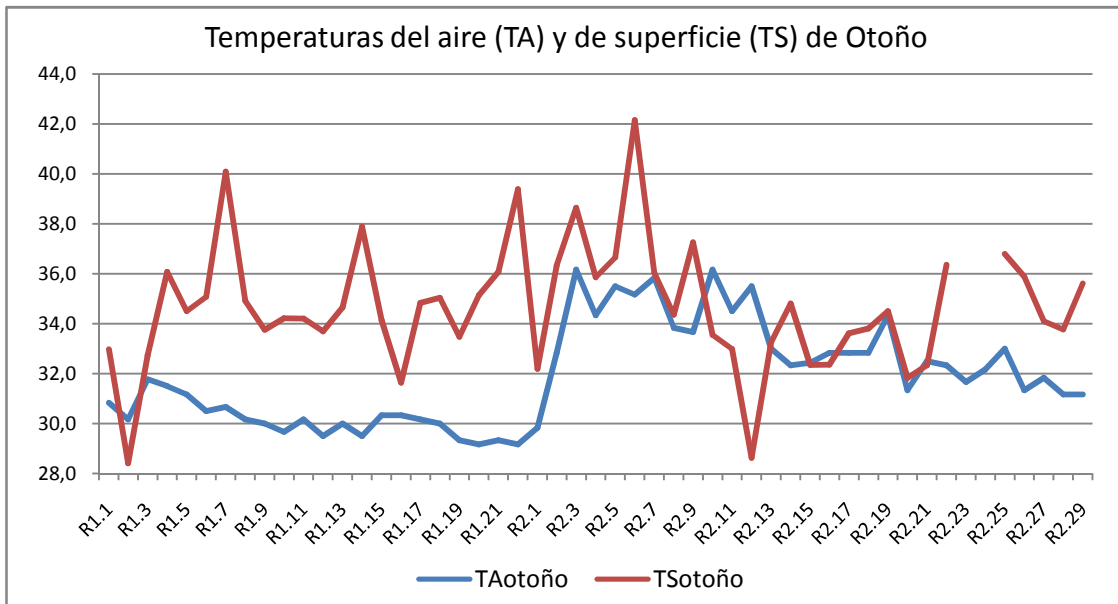


Figura 6.24. Temperaturas del aire (TA) de los transectos y las temperaturas de la superficie (TS) de la imagen Landsat de Primavera. Fuente: elaboración propia.

El análisis de la dispersión de los datos están en la Figura 6.25 que se permitió la obtención de una conglomeración de las temperaturas entre el rango de 28,4°C a 42,1°C, pero en la mayoría los valores están dentro de una agrupación de temperaturas dentro del rango entre los 29,5°C a 36,8°C y en ningún caso con valores por encima de 42,1°C o fuera del rango. La regresión presenta una correlación con un nivel de significancia bajo ((inferior al 1% de la varianza) pero la línea de tendencia sugiere que las temperaturas están representativas y en ningún caso con valores por encima o abajo fuera del rango .

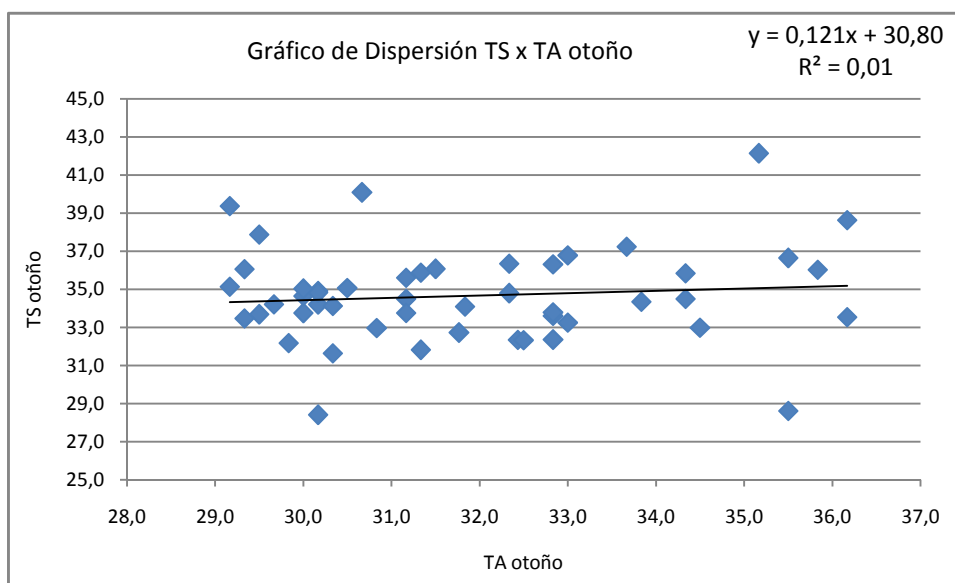


Figura 6.25 - Gráfico de dispersión de las temperaturas de superficie (TS) y temperaturas atmosféricas (TA) de Natal, abril de 2012. Fuente: elaboración propia.

6.3.4.2. La caracterización de la isla de calor urbana superficial de Natal en Otoño

La Figura 6.26 muestra la distribución de las temperaturas en el mes de abril de 2012, que es el período estacional de otoño. Los principales factores de este período son el período estival y las temperaturas calientes.

En la Figura 6.26 del día 28 de abril de 2012 la distribución de las temperaturas evidencian la presencia en casi toda la ciudad de los colores del azul claro al amarillo y esto permite estimar las temperaturas aproximadamente entre los 14°C y 25°C por encima de la mínima. Sin embargo, aparecen tres núcleos de ICUS, el primero en la zona Norte, otra en la zona Oeste y una isla alargada en el Centro Sur de la ciudad. Hay puntos de colores naranjas y rojo en el Centro y en la zona Sur de la ciudad, estos representan las preocupantes temperaturas entre 28°C a 36°C por encima de la mínima.

Para las temperaturas más bajas están muy bien delimitadas y destacadas en los mismos sitios del Este en el Parque de las Dunas, al sur en el área verde de Ponta Negra, Lagoinhas, en las orillas del río Pitimbu y en el Parque de la Ciudad, al oeste y Centro en las orillas de los Manglares del río Potengi y al norte en las áreas verdes de la Laguna Azul.

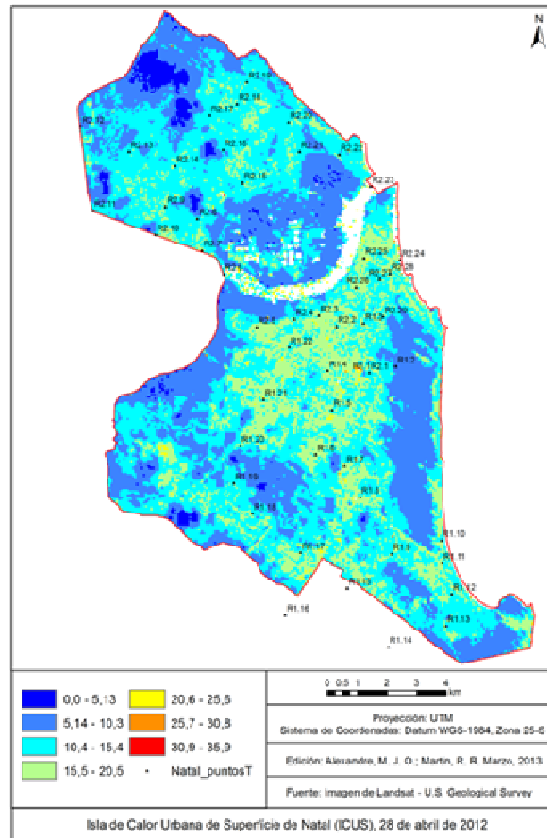


Figura 6.26. Mapa de la isla de calor urbano superficial de Natal (ICUS), 28 de abril de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.

6.4. EVOLUCIÓN HISTÓRICA ENTRE LAS ISLAS DE CALOR URBANAS SUPERFICIAL (ICUS) DE NATAL, 1990 Y 2012

Un hecho importante sobre las temperaturas superficiales (TS) de Natal es el análisis de la evolución histórica entre los datos de las imágenes de mayo de 1990 y abril de 2012. (Araujo, 1991) hizo los registros de las temperaturas del aire a través de un transecto de campo en la ciudad. En total de fueron 31 puntos de muestreo que cubrió solo la zona Sur de la ciudad, realizados en los días 30 y 31 de marzo de 1990 y 1 de abril de 1990. Debido a esto, fue cogida una imagen de Landsat del mes de mayo de 1990 (10/05/1990) la más aproximada que está relacionada con el período de referencia del citado estudio.

Araujo (1991) detalla las condiciones del tiempo en Natal en los días de los transectos. En el día 30/03/1990, temperatura media del aire de 28,8°C, máxima 31°C y mínima de 23,7°C y humedad relativa del aire en 80% y sin lluvia. En el día 31/03/1990 la ciudad con buen tiempo y el cielo parcialmente cubierto con temperatura media del aire de 29,2°C, máxima 31°C y mínima de 23,7°C y humedad relativa del aire en 80% y sin lluvia. Y el día 01/04/1990, último día de la investigación, la ciudad con buen tiempo con temperatura media del aire de 29,0°C, máxima 31,4°C y mínima de 26,6°C y humedad relativa del aire en 74%. Así fue tomada la imagen de Landsat más próxima que fue del día 10/05/1990, en esta fecha la ciudad presentó una temperatura media del aire de 28°C, máxima 30°C y mínima de 23,1°C y humedad relativa del aire en 75%, y la ocurrencia de 3 mm de lluvia antes del medio día (INMET).

La Figura 6.27 muestra el dato histórico de la temperatura de la superficie (TS) de la ciudad de Natal en el día 10/05/1990 (a las 11:48 horas) período del final de verano (otoño) y fue añadido los 31 puntos del muestreo de los transectos. En esta imagen aparece una agrupación de puntos de colores amarillo y naranja referentes a temperaturas en torno de los 30°C concentradas en el Centro de la ciudad. Pero en la imagen no hay presencia de temperaturas muy cálidas (>35°C). Al sur y sureste de la ciudad es donde resultan las áreas con valores de temperaturas más bajos (<24°C), principalmente debido a la presencia del Parque de las Dunas y del Parque de la Ciudad, que son las grandes áreas de vegetación natural de la ciudad. A la zona Norte de la ciudad de igual forma hay una concentración de temperaturas en el Centro y más bajas en la orilla del río Potengi que está en el Centro de la imagen.

La Figura 6.28 muestra el mapa de la temperatura de la superficie (TS) de Natal de 28 de abril de 2012 ya anteriormente analizada (ver apartado 6.3.4).

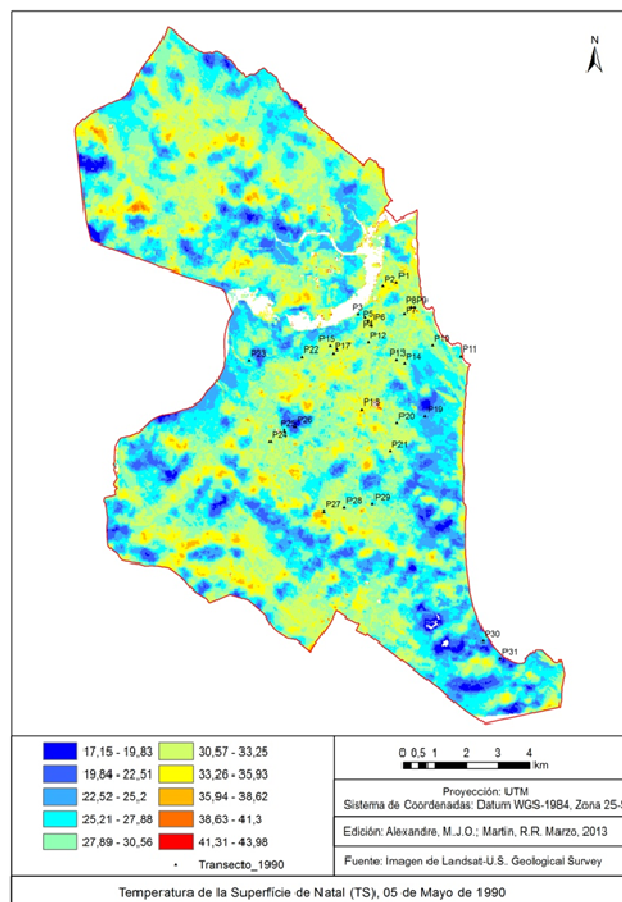


Figura 6.27. Mapa de la temperatura de la superficie de Natal (TS), 10 de mayo de 1990. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.

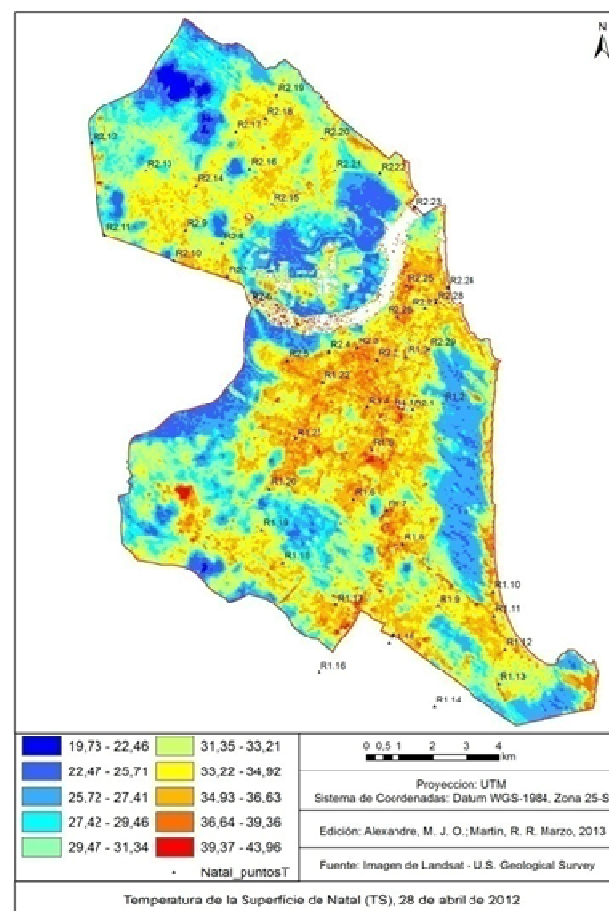


Figura 6.28. Mapa de la temperatura de la superficie de Natal (TS), 28 de abril de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.

6.4.1. Correlaciones entre las temperaturas del aire (TA) y las temperaturas de la superficie (TS) de Natal de 1990

Las temperaturas del aire (TA) de los transectos y las temperaturas de la superficie (TS) de la imagen Landsat del año de 1990 de Natal están en el Apéndice (Tabla A9). Las temperaturas del aire fueron medidas con termómetros en el campo y las temperaturas de la superficie medidos a partir de los datos de la imagen de Landsat (Araujo, 1991).

Se observa en la representación del Gráfico 6.29, por una parte, que las TS y TA están dentro del rango entre 20,3°C a 35°C y los seguimientos de líneas igualmente muestran en general una tendencia de no concordancia entre los datos, mientras que dos 31 puntos hay 8 concordantes, eso representa 25% de coincidencia entre los valores de TS y TA.

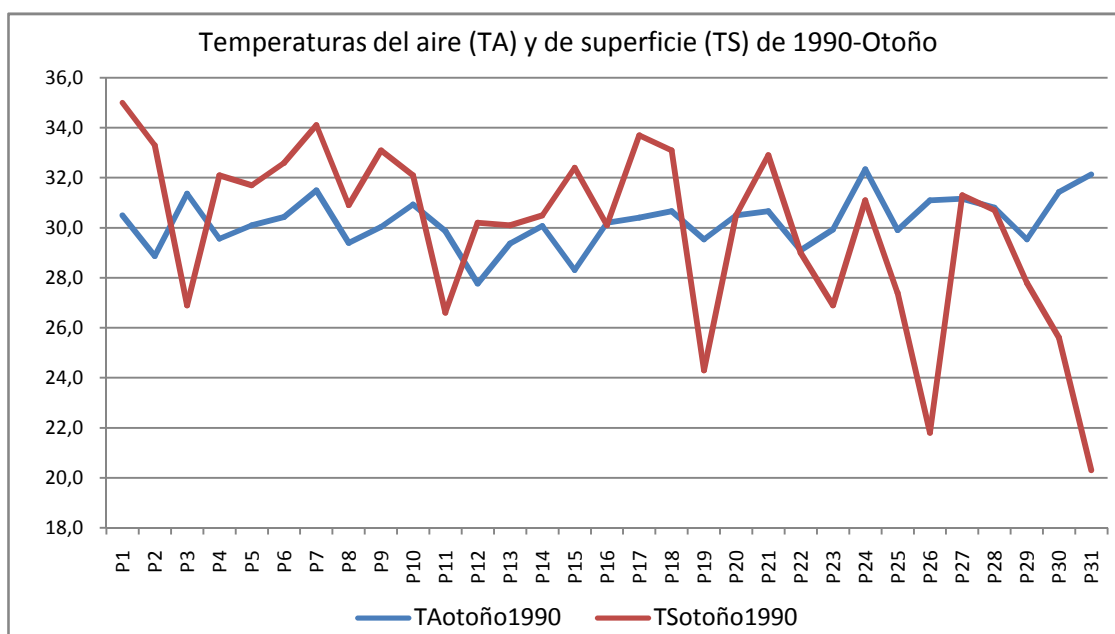


Figura 6.29. Temperaturas del aire (TA) de los transectos y las temperaturas de la superficie (TS) de la imagen Landsat de Primavera. Fuente: Elaboración propia y Araujo, 1991.

El análisis de la dispersión de los datos están en la Figura 6.30 que se permitió la obtención de una conglomeración de las temperaturas entre el rango de 20,3°C a 35°C, pero en la mayoría los valores están dentro de una agrupación de temperaturas dentro del rango entre los 28°C a 32°C y en ningún caso con valores por encima de 35°C o fuera del rango. La regresión presenta una correlación con un nivel de significancia bajo

(04%) pero la línea de tendencia sugiere que las temperaturas están representativas y en ningún caso con valores por encima o abajo fuera del rango .

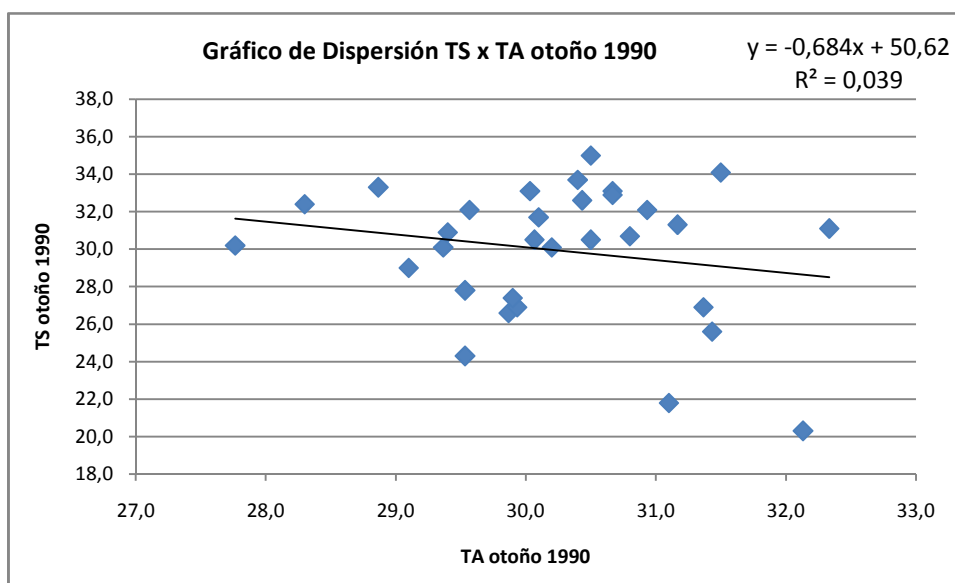


Figura 6.30 - Gráfico de dispersión de las temperaturas del aire (TA) de los transectos y temperaturas de superficie (TS) de la imagen Landsat de Natal, en 1990. Fuente: Elaboración propia y Araujo (1991)

Una observación inicial en la distribución de las temperaturas superficiales (TS) de Natal a partir de la evolución histórica entre las imágenes de mayo de 1990 (Figura 6.26) y abril de 2012 (Figura 6.27) aparece notoriamente un cambio muy brusco de aumento de las temperaturas superficiales en el segundo período (2012).

Una profundización en esta estructura térmica de la ciudad se muestra en el cuadro 6.3. En este cuadro se observa la división de la ciudad de Natal en tres zonas térmicas superficiales siendo, fresca, cálida y calurosa.

Así pues, en mayo de 1990 las TS de Natal muestran una variación total de temperaturas entre 17°C a 35°C. En la zona térmica cálida, que incluye toda el área edificada de la ciudad, presentan variaciones de temperaturas entre 27 a 35°C. Ya la zona calurosa está formada por puntos aislados y muy dispersos localizados en el Centro, zona Norte y Sur con variaciones de temperaturas entre 35°C a 37°C. En relación a la zona fresca esta se distribuye por casi toda la ciudad con temperaturas entre 17 a 25°C. Esta zona fresca está muy presente en toda la ciudad y de forma muy

homogénea principalmente en zonas verdes o de vegetación natural, que incluyen los grandes parques y las vegetaciones en las orillas de los dos ríos de la ciudad.

En abril de 2012 las zonas térmicas presentan en toda la ciudad una variación total entre 19°C a 40°C. El principal hecho de este período se refiere a la ampliación de la zona térmica cálida que cubre prácticamente toda el área artificial de la ciudad, esto es, el área urbana edificada de la ciudad con una variación de temperaturas entre 31°C a 38°C. Además, la zona más calurosa fue también ampliada principalmente en el Centro, zona Sur y zona Norte y presenta temperaturas muy altas entre 38°C a 40°. Se restan las zonas frescas con temperaturas entre 19 a 29°C, representadas como verdaderas islas aisladas, localizadas justamente en las zonas verdes o de vegetación natural, que incluye los grandes parques y las vegetaciones en las orillas de los dos ríos de la ciudad y están casi completamente rodeadas por las áreas más cálidas de la ciudad.

Cuadro 6.3 - Comparación de la evolución histórica entre las temperaturas superficiales (TS) de Natal entre mayo de 1990 y abril de 2012.

Zona Térmica	Local	Temperatura superficial (TS)	
		10/05/1990	28/04/2012
Cálido	Toda área urbana edificada	27 a 35°C	31 a 38°C
Caluroso	Parte del Centro, zona Norte y Sur	35 a 37°C	38 y 40°C
Frescos	Parque de las Dunas (E) Parque de la Ciudad (S) Ponta Negra y Lagoinhas (S) Orillas del río Pitimbu (S) Manglares y orillas del río Potengi (N/O) Laguna Azul (N)	17 a 25°C	19 a 29°C

Fuente: elaboración propia

En este conjunto comparativo de la evolución histórica de la ciudad entre 1990 y 2012 muestra claramente cambios muy significativos en las temperaturas superficiales de Natal. En estas dos décadas los cambios térmicos superficiales en la ciudad son de

aproximadamente 2°C para las temperaturas superficiales mínimas y 3°C para las máximas. Estos números, simbolizan transformaciones preocupantes en la ciudad, en otras palabras, representan un crecimiento tanto horizontal como vertical con mucha intensidad en el área edificada como un todo y disminución de las áreas verdes.

6.4.2. La caracterización la isla de calor urbana superficial de Natal de la evolución histórica de entre 1990 y 2012

La evolución histórica de las islas de calor urbanas superficiales (ICUS) de Natal están representadas entre los mapas de 10 mayo de 1990 (Figura 6.31) y de 28 de abril de 2012 (Figura 6.32).

En la Figura 6.31 está representada la isla de calor urbana superficial (ICUS) del día 10 de mayo de 1990, fecha esta que se eligió debido al dato histórico del transecto de marzo y abril de 1990 (Araujo, 1991). Lo que se indica en este mapa es la predominancia de los colores entre tonos azules y cian, hecho que representa las temperaturas entre 11°C y 19°C menos la temperatura mínima. No está muy evidente la presencia de ICUS debido a la homogeneidad de las temperaturas por toda el área de la ciudad y con eso hay una mezcla entre las áreas verdes y el área edificada. Para las temperaturas por encima de 20°C, de colores amarillos y naranja, son muy puntuales y muy restringidas a puntos del Centro de la ciudad y en las zonas Norte y Sur. La Figura 6.26 representa el mapa de la ICUS de 28 de abril de 2012 que ya está analizada anteriormente.

Los análisis de la evolución histórica de las ICUS ofrecen, según las temperaturas de la superficie, los campos y contrastes espaciales entre mayo de 1990 y abril de 2012. En efecto, muestran que en mayo de 1990 la ciudad no presenta una isla de calor bien evolucionada, pero, hay puntos que con la presencia de temperaturas más altas dispersos localizados en la zona Norte y en el Centro y Sur, en especial las temperaturas alrededor de los puntos P2 y P18. En relación a las IFUS está se distribuye por toda el área de la ciudad de forma muy homogénea principalmente en zonas verdes o de vegetación natural, que incluye los grandes parques y las vegetaciones en las orillas de los dos ríos de la ciudad.

En abril de 2012 (Figura 6.32) las islas calor en la ciudad están muy bien representadas por dos ICUS separadas por el estuario del río Potengi. La primera comprende una gran isla ampliada entre el Centro y Sur de la ciudad, en especial son los

alrededores de los puntos R2.25, R2.26, R1.4 y R1.7. La segunda, en la zona Norte, una isla de calor ampliada en un cuadrilátero formado por los vértices en los puntos R2.7 y R2.11 con R2.19 y R2.21. Otro hecho destacado son las IFUS, muy delimitadas, formando sitios bien aislados y localizados justamente en las zonas verdes o de vegetación natural, que incluye exactamente al Este el Parque de las Dunas, al Sur el área de Ponta Negra y Lagoinhas, Parque de la Ciudad y las Orillas del río Pitimbu, al Norte el área de la Laguna Azul y al Oeste y Norte los manglares y orillas del estuario del río Potengi.

En estas dos décadas los cambios térmicos superficiales en la ciudad son muy significativos y preocupantes. Está caracterizado la formación de dos ICUS una más grande en el Centro-Sur y otra en la zona Norte y la diferencia térmico de aproximadamente $1,4^{\circ}\text{C}$ para la temperaturas superficiales máximas.

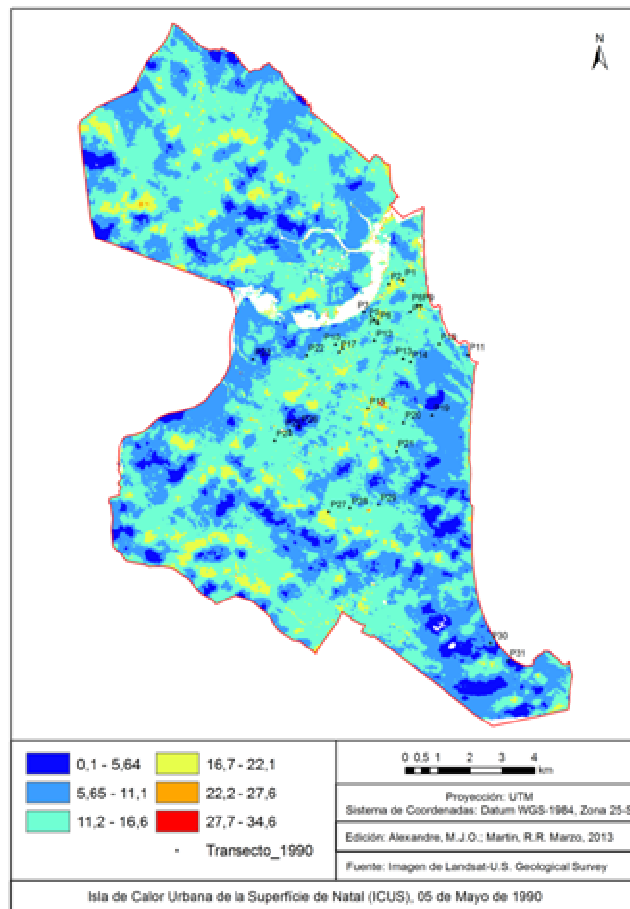


Figura 6.31. Mapa de la isla de calor urbano superficial de Natal (ICUS), 10 de mayo de 1990. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.

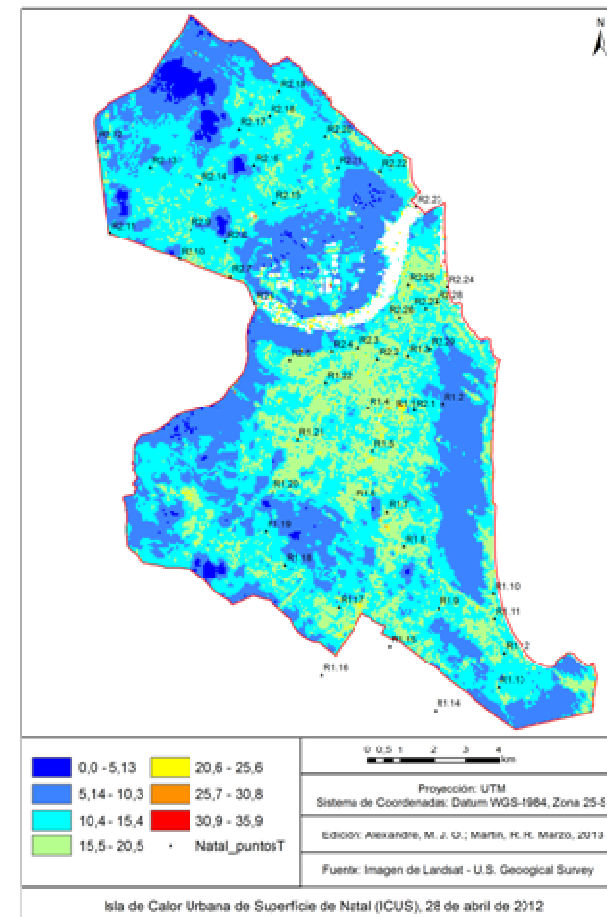


Figura 6.32. Mapa de la isla de calor urbano superficial de Natal (ICUS), 28 de abril de 2012. Fuente: imagen de Landsat, US Geological Survey.

6.5. COMPARACIÓN ENTRE LA ICUS Y LA ICUA DE LA CIUDAD DE NATAL

6.5.1. Las zonas térmicas de las temperaturas superficiales (TS) de Natal

Este apartado se introduce el análisis comparativo entre las temperaturas de la superficie (TS) para verificar si ha habido cambios significativos en cada estación del año para las TS de Natal.

En este sentido, se ha comprobado de acuerdo con los análisis de las temperaturas superficiales (TS) que la ciudad está formada por tres zonas térmicas muy distintas, fresca, cálida y calurosa. Estas tres zonas contemplan variaciones de temperaturas entre 19°C a 41°C en el transcurrir del año.

La estructura de las zonas térmicas superficiales de la ciudad está representada en el cuadro 6.4. Se observa que la zona térmica cálida incluye toda el área edificada, esto es, el área urbana de la ciudad. En esta no se observan cambios muy significativos en las estaciones del año, salvo en el invierno o el período lluvioso es donde ocurren las temperaturas más bajas (21°C), los demás períodos siguen sin cambios, con temperaturas que varían entre 31°C a 39°C. La zona térmica calurosa de la ciudad se localiza en parte del Centro de la ciudad, en algunos lugares de la zona Norte y en el Sur de la ciudad. De igual forma, no presenta cambios muy significativos en las temperaturas de la superficie, las temperaturas son altas durante todo el año, con una pequeña baja en el invierno (entre 29°C a 37°C), los demás períodos siguen con temperaturas muy altas entre 38°C a 41°C. La zona térmica fresca de la ciudad está justamente insertada en las zonas verdes o de vegetación natural, que incluyen los grandes parques y las vegetaciones en las orillas de los dos ríos de la ciudad. Las temperaturas de las zonas frescas no hay cambios bruscos, las mínimas alrededor de los 19°C durante todo el año, y las máximas con pequeñas oscilaciones por encima de 25°C en invierno hasta llegar a los 29°C en el otoño.

En general, las condiciones térmicas de acuerdo con los resultados de las temperaturas superficiales de Natal no presentan cambios tan significativos en el año. Pero, presentan tres áreas térmicas muy distintas entre sí, más frescas en las áreas de vegetación natural densa, las zonas cálidas están presentes en toda el área edificada de la ciudad y la zona calurosa en las áreas más densamente ocupadas por edificios.

Cuadro 6.4 - Zonas térmicas y temperaturas superficiales (TS) de Natal.

Zona Térmica	Local	Temperatura Superficial (TS)			
		Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Cálido	Toda área urbana edificada	21 a 35°C	31 y 38°C	31 a 39°C	31 y 38°C
Caluroso	Parte del Centro, zona Norte y Sur	29 a 37°C	38 y 41°C	38 y 41°C	38 y 40°C
Frescos	Parque de las Dunas (E)	19 a 25°C	19 a 26°C	19 a 27°C	19 a 29°C
	Parque de la Ciudad (S)				
	Ponta Negra y Lagoinhas (S)				
	Orillas del río Pitimbu (S)				
	Manglares y orillas del río Potengi (N/O)				
	Laguna Azul (N)				

Fuente: elaboración propia.

6.5.2. Las islas de calor urbanas superficiales (ICUS) de Natal

Las variaciones térmicas superficiales o atmosféricas no son, por tanto, uniformes espacial y temporalmente en Natal, sino que presentan una estructura muy variada en toda el área de la ciudad. En las temperaturas superficiales de las imágenes de satélite se observaron rasgos muy distintos y lo mismo ha ocurrido en las temperaturas del aire de los transectos.

No está de menos recordar que el uso de la temperatura de la superficie (TS) está limitada a la interpretación de la imagen termal capturada a través de la teledetección orbital a nivel de las cubiertas del área urbana de la ciudad. Al contrario, la temperatura del aire (TA) refleja las condiciones de la atmosfera urbana a través de las medidas efectuadas por los termohigrómetros a 1,5 m del suelo en los dos transectos el Natal.

Como forma de sintetizar las informaciones entre las ICUS e ICUA, a continuación se intentará establecer alguna correlación verificando se hay o no alguna correspondencia, y si hay, de qué modo actúan o influyen en el clima de Natal.

En el Cuadro 6.5 está el resumen de las islas de calor urbanas atmosféricas (ICUA) y las islas de calor urbanas de superficie (ICUS) de Natal. Una primera comparación entre los valores en el cuadro ayudan a ponderar sobre la actuación de las

islas. Del conjunto de ambos resultados (ICUA e ICUS) se muestra que es en invierno (período de las lluvias), especialmente los meses de julio y agosto, cuando se encuentran los valores más bajos (7°C a 11°C) y el verano los valores más altos (8°C a 15°C) de las islas de calor.

Los mapas de las islas de calor urbanas atmosféricas (ICUA) y de las islas de calor urbanas de superficie (ICUS) de invierno están en la Figura 6.33. Los mapas de primavera en la Figura 6.34, de verano en la Figura 6.35 y de otoño en la Figura 6.36. En emparejamiento de los estos mapas muestran y facilitan el siguiente análisis a fin de averiguar la correlación o correspondencia entre los episodios de la presencia de las ICUS e IFUS en las estaciones del año.

Entre los episodios de las islas de calor atmosféricas, el rango más bajo (3°C a 4,5°C) es el invierno y el rango más alto (2°C a 10°C) es el período de otoño. Los episodios de las islas de calor de superficie presentan el rango más bajo (8°C a 16°C) en primavera y el rango más alto (14°C a 25°C) tanto en el verano como en otoño. Así, la actuación de las islas calor de la atmosfera y superficie en los episodios de las estaciones del año tienen en el período de invierno y primavera el rango más bajo y en el período de verano y otoño los rangos más altos. Se relaciona con las lluvias una clara y determinante actuación azotando los efectos de las islas de calor el Natal.

La influencia de la morfología urbana, como se espera, actúa directamente en la distribución de las islas de calor en toda el área urbana. Se distinguen dos lugares muy determinantes, el Centro-Sur y la zona Norte de la ciudad, ambos separados por el estuario del río Potengi, que prácticamente separa la ciudad en dos partes. Consecuentemente la densidad del área horizontal edificada asociado a densidad vertical de los edificios suelen producir una mayor intensidad de las islas de calor. Por eso, las más altas islas de calor se asocian a los barrios del Centro (Ciudad Alta, Petrópolis, Alecrim), de la zona Norte (Igapó) y en la zona Sur (Lagoa Seca y Lagoa Nova). Del análisis se deduce que junto a los episodios de las estaciones del año, la densidad horizontal y vertical de los edificios determina la intensidad y espacialidad de las islas de calor en la ciudad de Natal.

Cuadro 6.5 - Resumen de las ICUA e ICUS de Natal.

Período	Tipo	Fecha	Intensidad		Local
Invierno	ICUA	11/07/2011	2°C a 3,5°C	Moderada	Centro, Sur y Norte
	ICUS	23/07/2011	9°C a 14°C	Muy Fuerte	Centro,
	ICUA	11/07/2012	4°C a 5,5°C	Fuerte	Centro, Norte y Sur
	ICUS	17/07/2012	12°C a 20°C	Muy Fuerte	Centro, Norte, Sur y Oeste
Primavera	ICUA	06/10/2011	2°C a 4°C	Moderada	Centro, Oeste y Norte
	ICUS	04/11/2011	5°C a 10°C	Fuerte y Muy Fuerte	Centro
	ICUA	24/10/2012	4°C a 11,4°C	Fuerte y Muy Fuerte	Centro y Norte
	ICUS	21/10/2012	11°C a 22°C	Muy Fuerte	Centro-Sur y Norte
Verano	ICUA	26/01/2012	2°C a 5°C	Moderada a Fuerte	Centro y Norte
	ICUS	07/01/2012	11°C a 24°C	Muy Fuerte	Centro-Sur y Norte
	ICUA	24/01/2013	2°C a 7,9°C	Moderada a Muy Fuerte	Sur, Oeste, Centro y Norte
	ICUS	25/01/2013	17°C a 25°C	Muy Fuerte	Centro-Sur y Norte
Otoño	ICUA	26/4/2012	2°C a 10°C	Moderada a Muy Fuerte	Centro y Norte
	ICUS	28/04/2012	14°C a 25°C	Muy Fuerte	Centro-Sur, Norte y Oeste

Obs.: La Intensidad de las ICUS = Temperaturas > T mínima imagen. Fuente: elaboración propia.

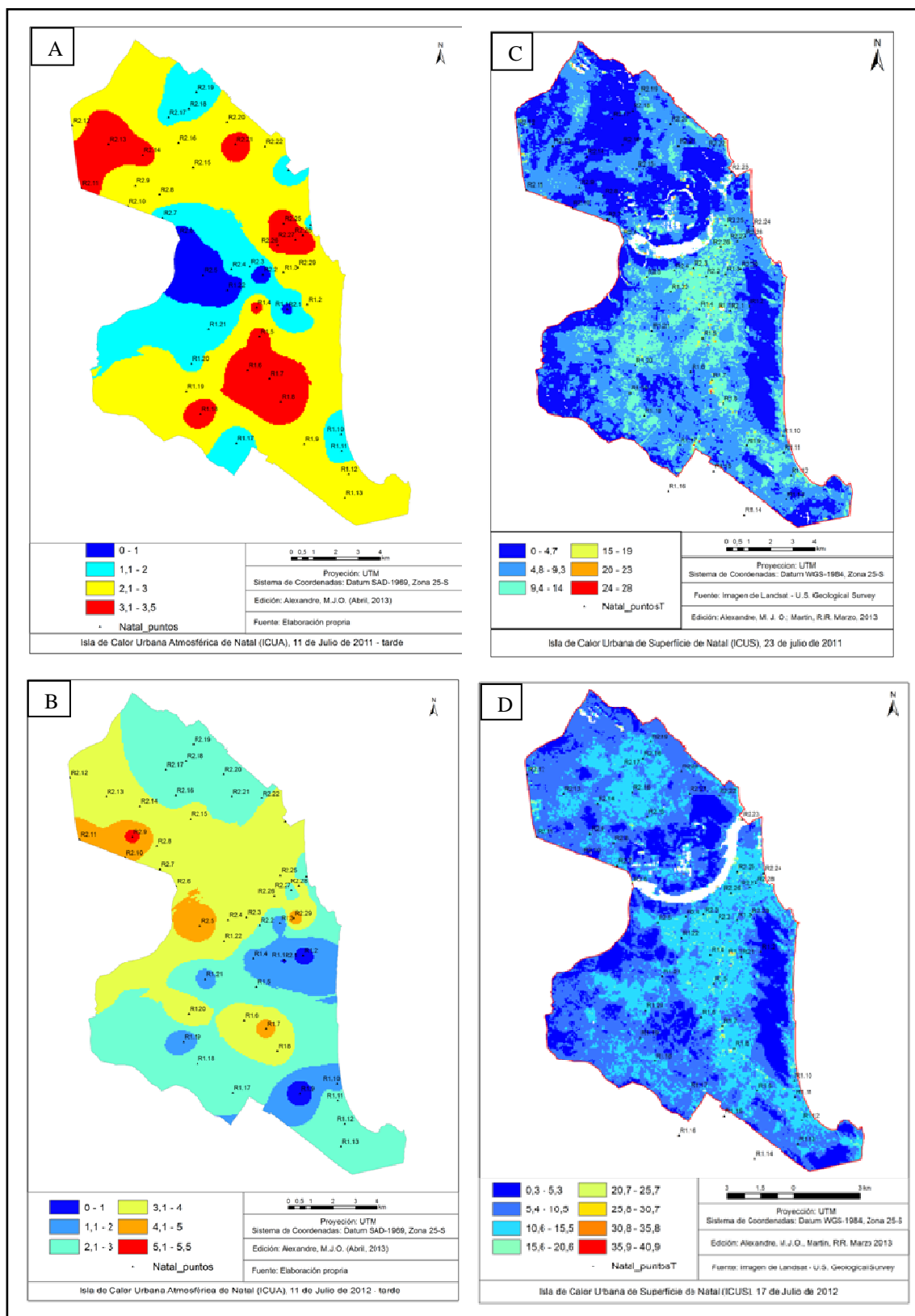


Figura 6.33. Mapas de las islas de calor urbanas atmosféricas (ICUA) y de la isla de calor urbana de superficie (ICUS) en invierno. Fuente: elaboración propia.

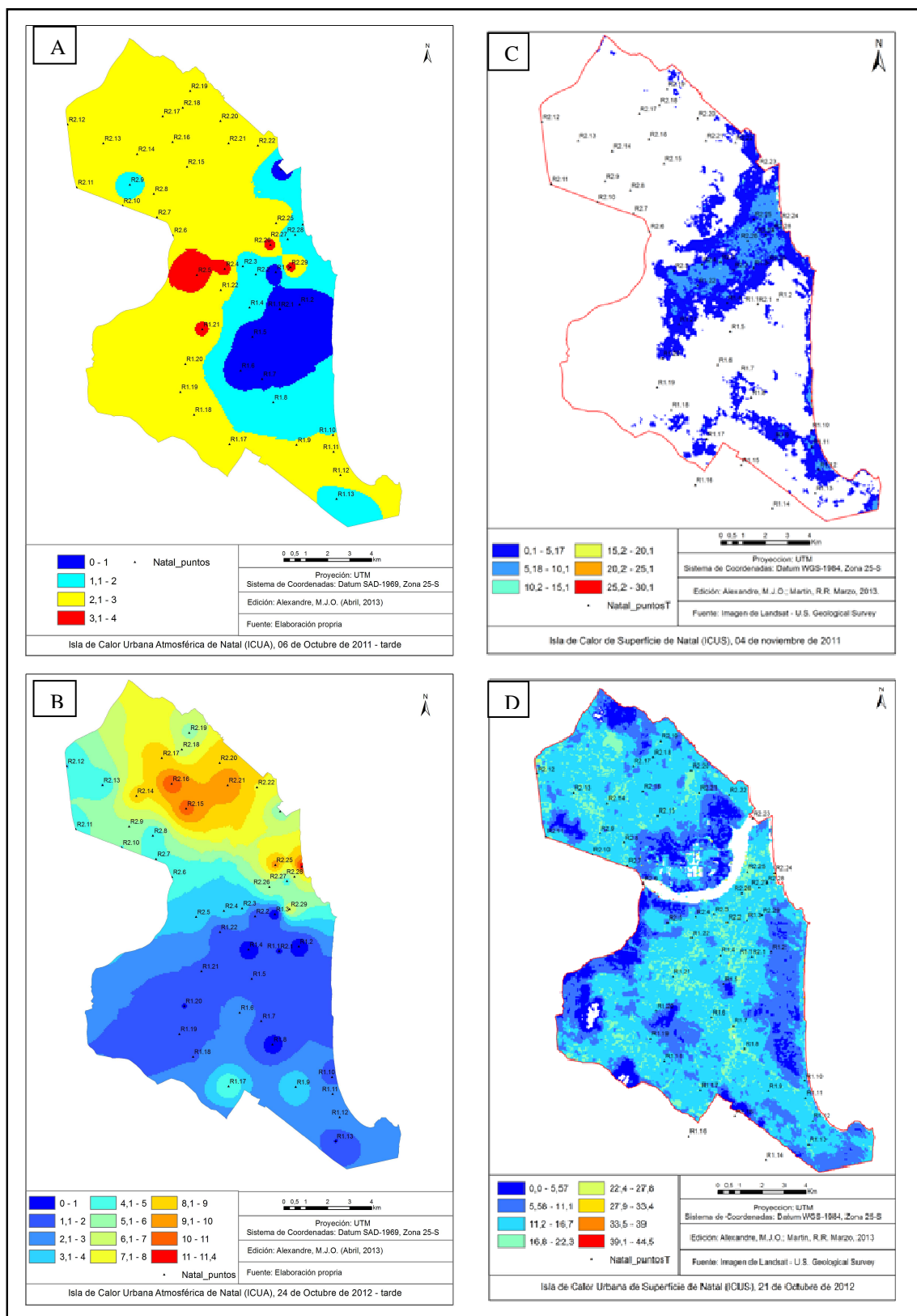


Figura 6.34. Mapas de las islas de calor urbanas atmosféricas (ICUA) y de la isla de calor urbana de superficie (ICUS) en primavera. Fuente: elaboración propia.

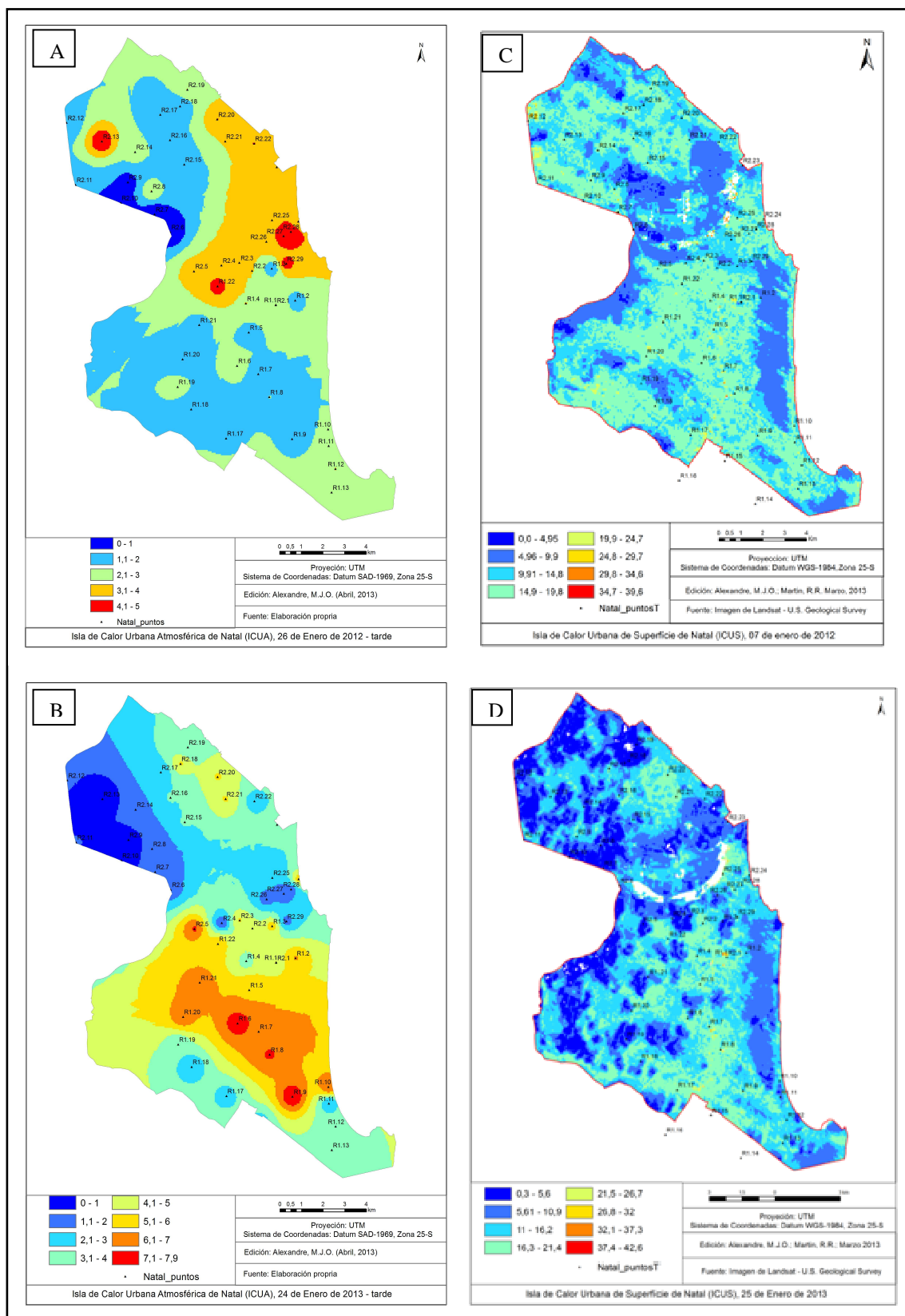


Figura 6.35. Mapas de las islas de calor urbanas atmosféricas (ICUA) y de la isla de calor urbana de superficie (ICUS) en verano. Fuente: elaboración propia.

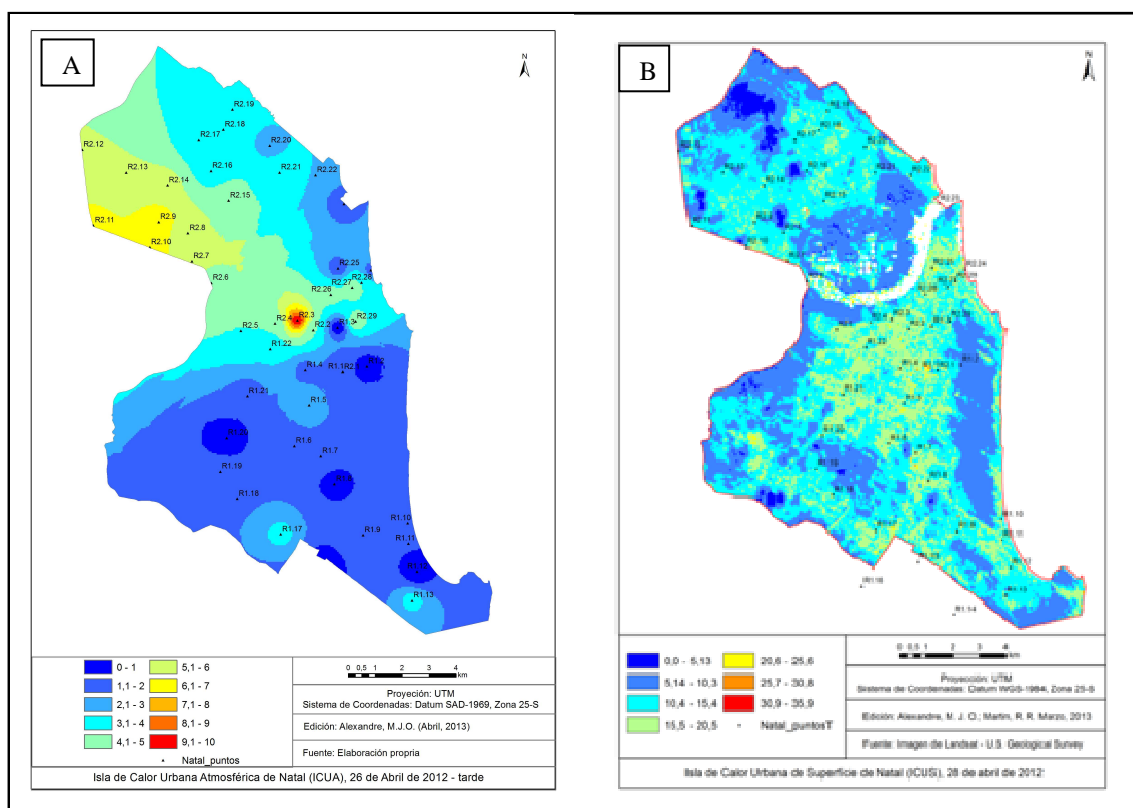


Figura 6.36. Mapas de las islas de calor urbanas atmosféricas (ICUA) y de la isla de calor urbana de superficie (ICUS) en otoño. Fuente: elaboración propia.

6.6. CONCLUSIÓN

La configuración térmica de Natal es policoncéntrica de acuerdo con las temperaturas de superficie de las imágenes de satélite y de las temperaturas de los recorridos. Hay tres áreas con mayores temperaturas, en el Centro, zona Sur y zona Norte y de igual forma también hay cuatro áreas que presentan temperaturas más amables, que son las áreas de vegetación densa y natural al Este, Sur y Norte de la ciudad.

Las temperaturas del aire (TA) de los transectos y las temperaturas de la superficie (TS) de las imágenes de satélite Landsat poseen correlaciones entre muy débil y moderada. Para conocer y determinar las variaciones de las variables se procedió a un análisis de los gráficos de dispersión de todos los datos, eso permitió la obtención y visualización mejor de la distribución y conglomeración de los datos. Los resultados de los gráficos muestran que la mayoría de los valores están dentro de una agrupación de temperaturas muy uniforme. Para los meses de enero (verano) entre 28°C a 41°C, abril (otoño) entre 27°C a 37°C, julio (invierno) entre 22°C y 32 y octubre (primavera) entre 21°C a 33°C.

Otra análisis importante fue la determinación de las islas de calor urbanas superficial (ICUS). Procedimiento este calculado a partir de las temperaturas de los ND de los píxeles de las imágenes. Pero es importante enfatizar que la ciudad de Natal está ubicada en una zona de litoral y son escasas las veces que no hay nubes en su atmosfera, hecho que dificulta la adquisición e interpretación de las imágenes térmicas.

Los resultados de las ICUS son muy determinantes para definir y dibujar un auténtico archipiélago de islas de calor en la ciudad, destacando por su extensión e intensidad en tres áreas, de menor intensidad en la zona Norte, Oeste y Sur y de mayor intensidad en el Centro. Incluso la presencia de puntos calientes bien definidos, R1.1 en el Centro, R1.7 y R1.8 al Sur, que en todas las imágenes presentan temperaturas en media entre 20°C y 30°C por encima de la mínima de la imagen.

Los resultados muestran que las islas de frescor están directamente relacionadas con las áreas de vegetación densa y abundante. Así como las islas de calor, también forman un auténtico archipiélago de islas de frescor en cuatro áreas que presentan temperaturas más amables, que son el Parque de las Dunas (al Este), el Parque de la Ciudad y las áreas verdes de Ponta Negra, Lagoinhas y en las orillas del río Pitimbu (al Sur), el área de la vegetación de manglares en la orilla del río Potengi (al Oeste) y el

área verde de la Laguna Azul en la zona Norte (al Norte). Las temperaturas superficiales en estas áreas son de -5°C a -15°C por debajo de la temperaturas medias de la imagen.

Un elemento importante de los resultados es la comparación de la evolución histórica entre los resultados de 10 de mayo de 1990 con valores correspondientes de 28 de abril de 2012. Estos resultados muestran unos evidentes cambios climáticos en la atmosfera de Natal en estos 22 años muy a menudo debido a los cambios en el uso y estructuras del suelo urbano. Antes la ciudad presentaba un rango de temperaturas entre 26°C a 32°C y no había temperaturas muy cálidas ($>35^{\circ}\text{C}$). Al contrario en 2012 son predominantes las temperaturas más altas que representan un rango entre 31 a 38°C presentes en toda el área urbana además de puntos aún más cálidos entre 38 y 40°C .

Al final, la comparación entre las ICUA y las ICUS de Natal muestran una relativa conexión entre ambas, pero relativos a las islas de calor diurnas. Los episodios de las islas de calor atmosféricas son más bajos en el invierno y más altos en el otoño. Los episodios de de las islas de superficie son más bajos en primavera y más altos en otoño. El aspecto morfológico es determinante para las islas de calor siendo el Centro-Sur y la zona Norte de la ciudad, ambos separados por el estuario del río Potengi, los dos lugares de mayor intensidad e influencia en la formación de las islas de calor, hecho este al que contribuye la mayor densidad tanto horizontal como vertical de las edificaciones.

PARTE III - EL RÉGIMEN BIOCLIMÁTICO

CAPÍTULO 7. EL RÉGIMEN BIOCLIMÁTICO MEDIO DE LA CIUDAD DE NATAL

7.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene como objetivo el análisis del régimen bioclimático de la ciudad de Natal a través del análisis de los datos de las series largas y de los transectos de campo. Para obtener el régimen de confort térmico de la ciudad se han utilizadas las temperaturas máximas y mínimas de los datos de las series diarias del período 1995 a 2010 del observatorio urbano, como también los datos medidos en los transectos del año de 2011 (julio y octubre), de 2012 (enero, abril, julio y octubre) y en enero de 2013.

El índice de confort térmico utilizado ha sido el índice universal de confort térmico (*Universal Thermal Climate Index*, UTCI), obtenido mediante el programa Bioklima 2.6 (Blazejczyk, 2010).

Según Higuera (2006) el urbanismo bioclimático se entiende como un área urbana singular caracterizada por la adecuación de sus trazados urbanos a las condiciones del clima local. La ciudad de Natal no fue una ciudad totalmente planeada en términos de un urbanismo bioclimático y continúa sin serlo. Al contrario, ha pasado desde su fundación por cambios muy significativos en su área territorial, sin un adecuado planeamiento urbano bioclimático, además se queda merced de la especulación inmobiliaria.

Fernández García, Rasilla Álvarez y Allende Álvarez (2013) desarrollaron un importante trabajo sobre la evaluación de impactos y propuestas de actuación de la isla de calor en Madrid durante los periodos cálidos utilizando el índice de temperatura fisiológica equivalente (PET). Resaltan la importancia de conocer el régimen bioclimático de la ciudad es un paso importante para definir las estrategias de mitigación. Entre los resultados, fueron establecidos cuatro categorías o zonas de impacto: nulo inferior a 0°C, débil inferior a 2°C, moderado entre 2°C y 4°C y muy fuerte cuando supera los 5°C.

En este contexto se presenta el estudio y se define el año bioclimático medio de la ciudad de Natal encuadrado en las sensaciones térmicas máximas y mínimas para el año medio con el índice de confort térmico universal (UTCI). Ambos resultados permitieron calificar el confort térmico que siente la población de Natal.

7.2. METODOLOGÍA

Son muchos los índices que se pueden utilizar para evaluar el confort térmico al aire libre y en el siglo pasado se desarrollaron cerca de 100 índices de confort térmico. Para hacer frente a la incertidumbres de ello, la *International Society of Biometeorology* (ISB), reforzados por la Acción Cooperación en Ciencia y Desarrollo Tecnológico (COST 730) de la Unión Europea (PWGSC, 2013), desarrolló el nuevo Índice Universal de Confort Térmico (UTCI) en febrero de 2009 (Krzysztof et al, 2010).

El índice de confort térmico UTCI fue desarrollado con la finalidad de crear un índice de sensación térmica universal para ambientes externos y aplicable a todos los climas. El índice se calcula considerando unas condiciones: la temperatura radiante media (T_{mrt}) que es igual a la temperatura del aire entre los valores de $+50^{\circ}\text{C}$ a -50°C . La velocidad del viento de 0,5 a 30,3 m/s, la humedad relativa de 5 a 100% y la presión máxima de vapor de 5kPa representado para una persona en una actividad normal camina a una velocidad de 4 km/h (1,10 m/s). Esto proporciona una tasa metabólica de 2,3 MET (135 Wm^{-2}).

Los resultados para las sensaciones térmicas se concretan en 10 categorías que van desde el estrés extremo por calor a estrés extremo por frío en el Cuadro 7.1 (International Society of Biometeorology, 2009).

Cuadro 7.1. Escala de sensaciones de estrés térmico del índice universal de confort térmico (UTCI).

UTCI ($^{\circ}\text{C}$) range	Stress Category
above +46	extreme heat stress
+38 to +46	very strong heat stress
+32 to +38	strong heat stress
+26 to +32	moderate heat stress
+9 to +26	no thermal stress
+9 to 0	slight cold stress
0 to -13	moderate cold stress
-13 to -27	strong cold stress
-27 to -40	very strong cold stress
below -40	extreme cold stress

Fuente: Glossary of Terms for Thermal Physiology (2003). Journal of Thermal Biology 28, 75-106.

El índice utilizado fue el UTCI porque este nuevo índice de confort térmico tiene un carácter universal eso es, permite ser aplicable a cualquier clima. Por eso, fue definido como referencia en este estudio. El UTCI fue utilizado tanto para los análisis de los transectos como para las series largas. Los resultados expresan las sensaciones térmicas experimentadas por la población en las distintas estaciones del año y las diferencias intraurbanas que aparecen como consecuencia de la diversidad de usos y tipologías.

El régimen bioclimático medio de Natal con el UTCI fue definidos a partir de las series de datos diarios del período de 1995 a 2010. registrados en el observatorio meteorológica de Natal (5°55"S, 35°12"W y altitud 48m) ofrecidos por el Instituto Nacional de Meteorología (INMET).

Los datos utilizados han sido las temperaturas del aire máximas y mínimas, humedad y la velocidad del viento además de los datos diarios de los octales de nubes de la estación meteorológica de Natal (INMET) de 16 años (1995 a 2010). Con ellos fue determinado el régimen bioclimático medio mensual y estacional y su evolución a lo largo del periodo considerado.

Para generar los datos del índice de confort térmico para los transectos con el programa Bioklima 2.6 se sigue las siguientes fases: (i) de cada punto de los transectos fueron utilizados los datos de temperatura del aire, humedad y velocidad del viento además de los datos diarios de las octales de nubes de la estación meteorológica de Natal, (ii) con este conjunto de datos fueron generados los valores del índice de confort térmico para la ciudad, (iii) enseguida fueron delimitadas las áreas de mayor y o menor disconformidad térmica de la ciudad de acuerdo con la escala de evaluación categorizados en términos de estrés térmico (Glossary of Terms for Thermal Physiology, 2003), por fin (iv) comparados entre las estaciones del año.

La interpolación de estos resultados, aplicando la técnica de la media ponderada por el inverso de la distancia (Inverse Distance Weighting, IDW-PID) en el software ArcGIS 10 nos permitió elaborar los mapas de distribución espacial del UTCI.

7.3. EL RÉGIMEN BIOCLIMÁTICO MEDIO DE NATAL A PARTIR DE LAS SERIES DIARIAS DEL PERÍODO DE 1995 A 2010

En este apartado se caracterizan las condiciones medias del confort térmico en Natal a partir de los datos diarios de las series largas del observatorio de Natal. La

aplicación del índice de sensación térmica en las condiciones ambientales externas asegura para el análisis de la confortabilidad térmica de la ciudad un doble resultado, de un lado la aplicación de un índice de sensación térmica universal y de otro un indicador para determinar la temperatura aproximada que las personas pueden sentir en la ciudad.

7.3.1. Año bioclimático medio y la variabilidad de las diferentes sensaciones en el periodo 1995-2010

Se observa en la Figura 7.1 el umbral del régimen medio de la sensación térmica para el UTCI. La amplitud de las temperaturas máximas con una variación anual entre los 29°C a 35°C (clasificado entre estrés moderado por calor y fuerte estrés por calor) y en este caso, alcanza su máximo en el período de otoño en los meses marzo a mayo y las mínimas sensaciones en los meses de invierno o período de lluvias, entre los meses de julio a septiembre. Mientras que para las sensaciones de las temperaturas mínimas la amplitud anual varía entre 18°C a 26°C y eso corresponde a la clasificación de confortabilidad térmica o clasificado como sin estrés térmico (temperaturas entre 9°C a 26°C), en Natal de igual forma varía con los máximos en el otoño y verano y las mínimas en el invierno y primavera o período de las lluvias.

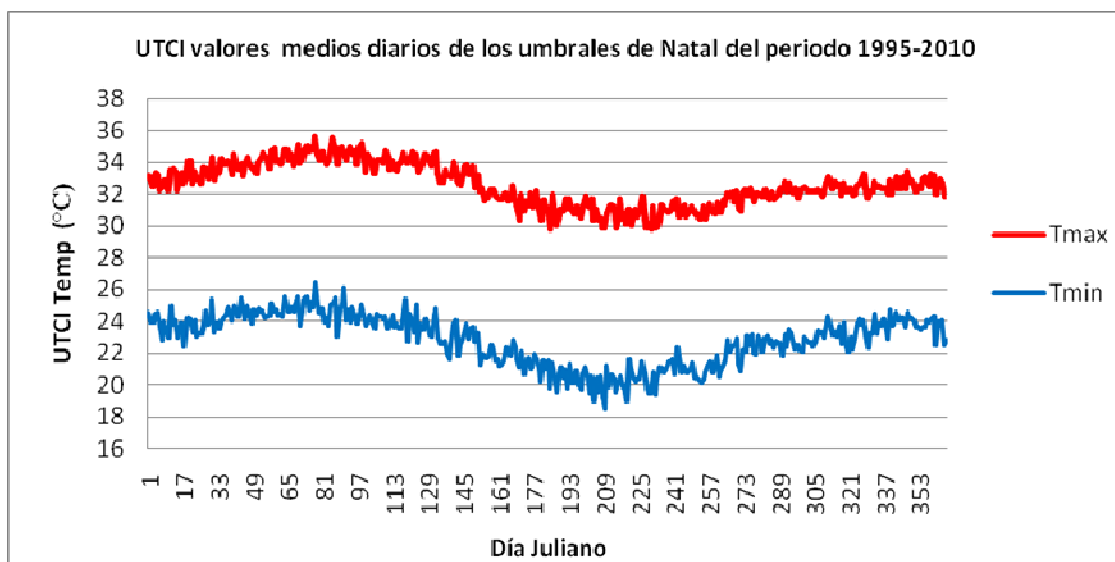


Figura 7.1. Los umbrales de confort térmico de Natal del período 1995-2010 con el UTCI. Fuente: elaboración propia.

Las características estacionales de la sensación térmica anual de la ciudad de Natal durante el día (temperaturas máximas) se observa en la Figura 7.2 y durante la

noche (temperaturas mínimas) en la Figura 7.3. Durante el día es rasgo más destacado es la abundante presencia de la sensación de fuerte estrés por calor (32 a 38°C) en aproximadamente 89% de los días del año y el otoño es la estación del año con la presencia de una situación de más no confortabilidad térmica. Durante la noche el ambiente de la sensación térmica de la ciudad es destacadamente de confortabilidad, donde predomina la presencia de estrés moderado por calor (26 a 32°C) y el invierno es la estación de más confortable.

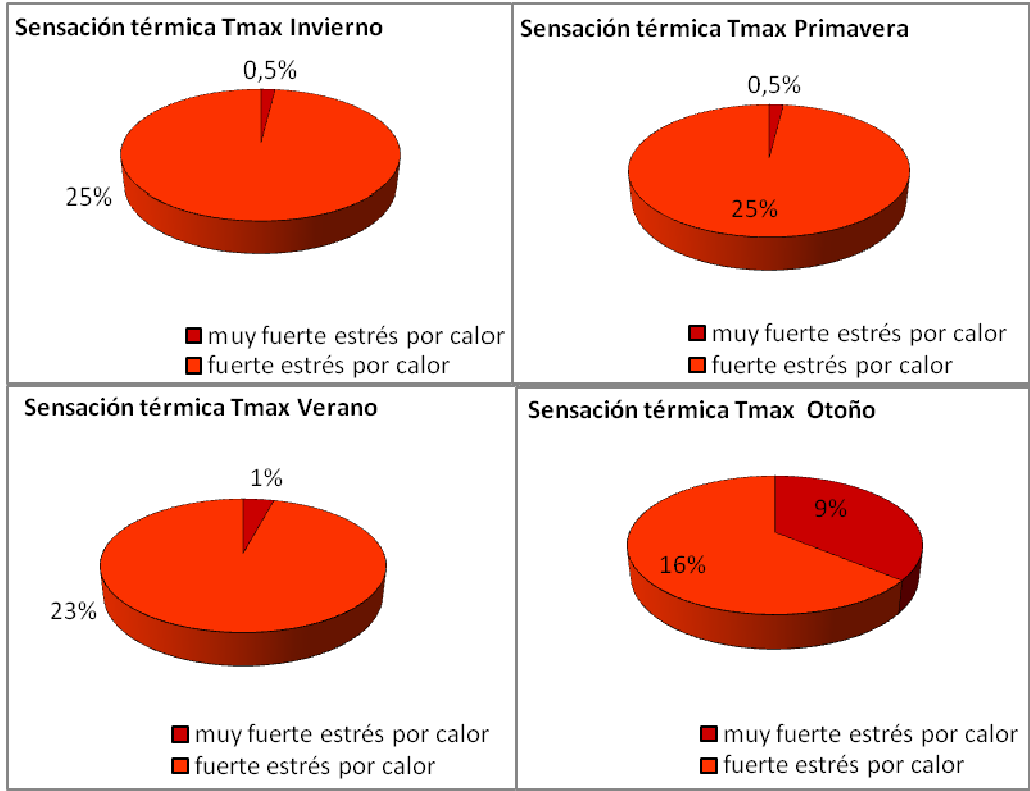


Figura 7.2. Características estacionales de la sensación térmica para el periodo diurno de Natal. Fuente: Elaboración propia.

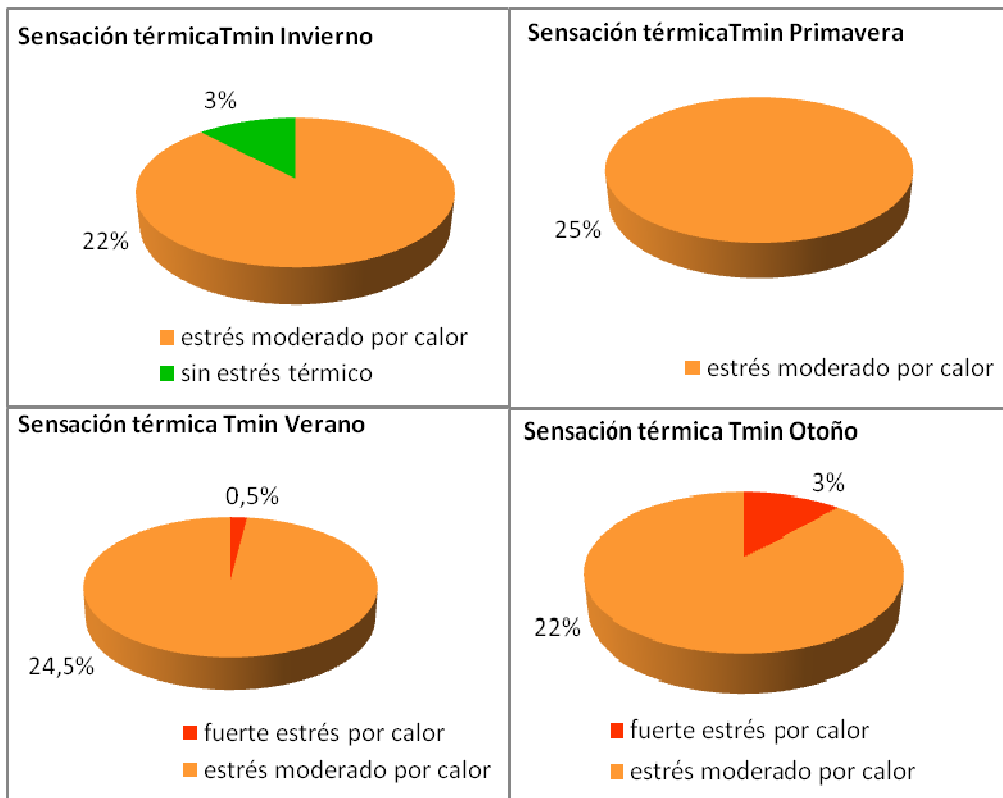


Figura 7.3. Características estacionales de la sensación térmica para el periodo nocturno de Natal. Fuente: Elaboración propia.

Se han obtenido en la Figura 7.4 la frecuencia de días con confortabilidad en la ciudad de Natal. En primer lugar, la confortabilidad solo está presente o normalmente predominan en el periodo nocturno, la frecuencia con días de confortabilidad se presenta con los valores muy próximos entre las estaciones y el invierno es la única estación con la presencia de la sensación sin estrés térmico.

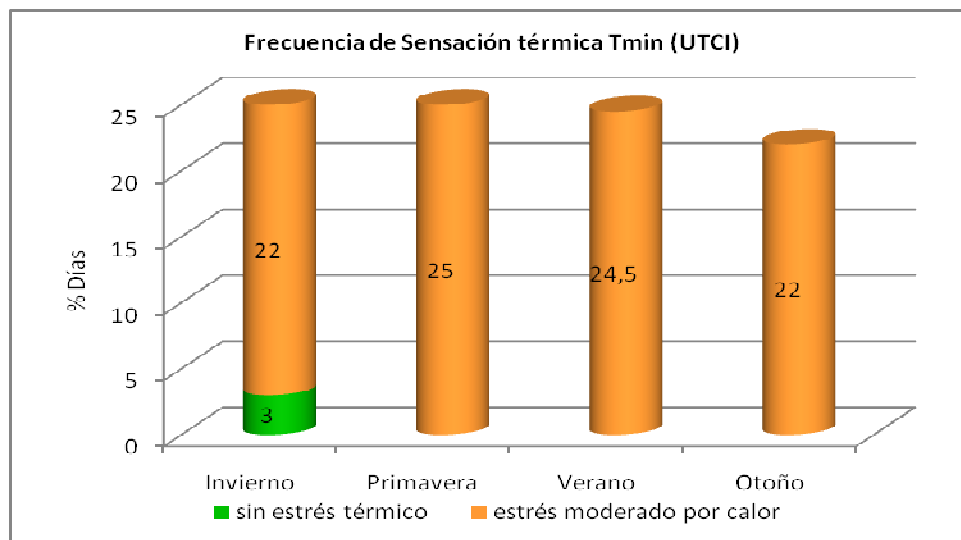


Figura 7.4. Frecuencia (%) de días con confortabilidad (Tmin) en la ciudad de Natal.
Fuente: Elaboración propia.

La evolución de las tendencias bioclimáticas de Natal a lo largo del periodo 1990 a 2010 se observan paralelamente para las sensaciones térmicas máximas y mínimas del año medio en la Figura 7.5.

La frecuencia anual clasificada para las temperaturas máximas (Figura 7.5) se constata que las sensaciones de "fuerte estrés por calor" y "estrés moderado por calor" son las más representativas en el periodo. Pero, a partir del año de 2008 empieza unos preocupantes cambios, entre el crecimiento de la sensación de fuerte estrés y de muy fuerte estrés y la disminución del estrés moderado.

La frecuencia anual clasificada para las temperaturas mínimas (Figura 7.5) está presente en las cuatro categorías del estrés térmico. Las sensaciones más representativas son "fuerte estrés por calor" y "estrés moderado por calor" las sensaciones de muy fuerte estrés y sin estrés son poco representativas. A partir de 2007 ocurre un brusco descenso de la sensación estrés moderado y el crecimiento del fuerte estrés.

Sin embargo, en los últimos cuatro años (2007 a 2010) hay dos tendencias muy preocupantes en el confort térmico de la ciudad de Natal, primero el aumento de la sensación de fuerte estrés por calor (32 a 38°C) y el segundo llama atención el crecimiento de la sensación de muy fuerte estrés por calor (38 a 46°C). En definitiva la ciudad de Natal presenta en los últimos años un crecimiento horizontal y vertical muy considerable y este crecimiento tiene consecuencias sobre el medio ambiente y muy a menudo sobre el clima.

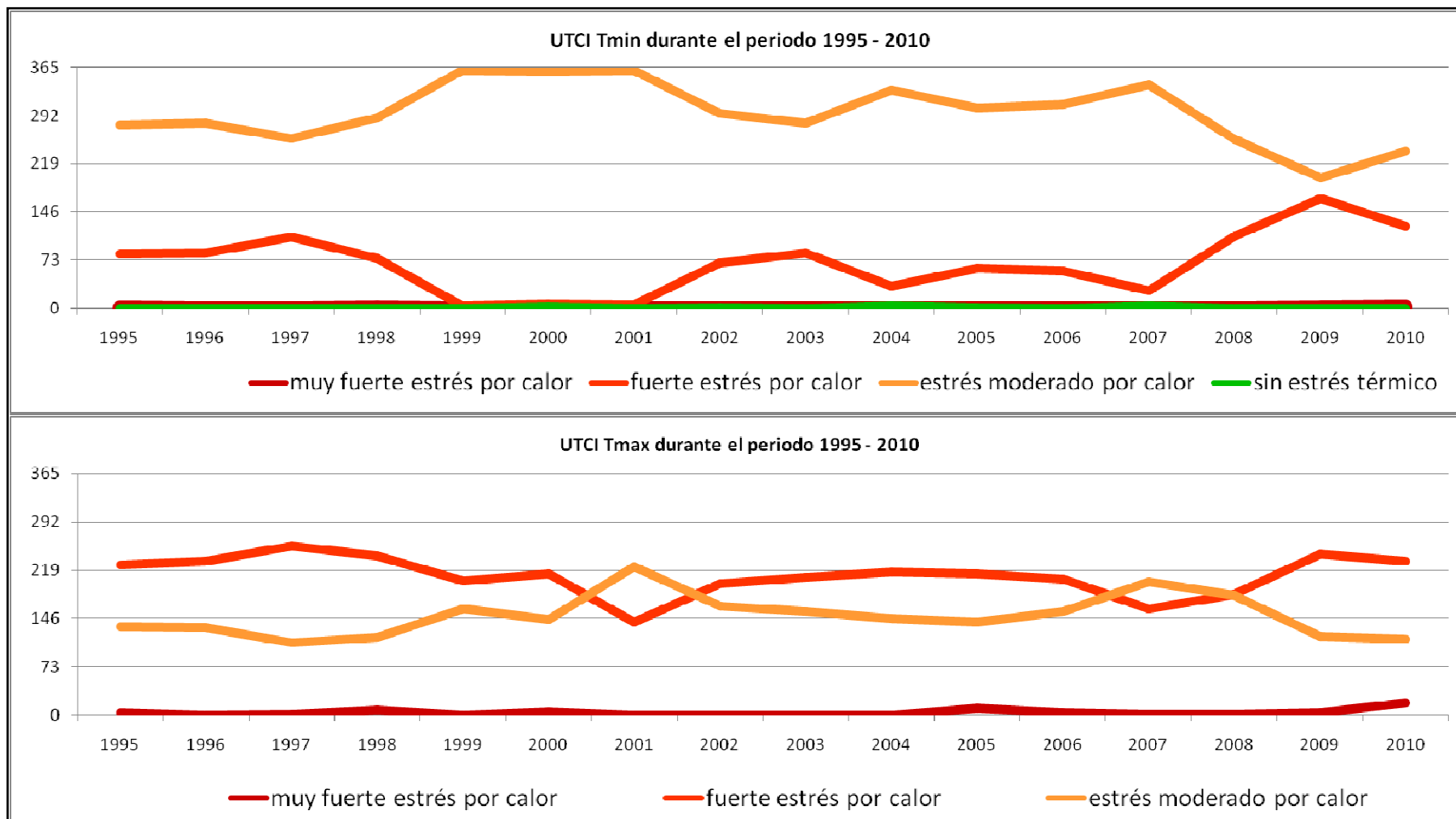


Figura 7.5. Frecuencia anual clasificada segundo las sensaciones de confort térmico de Natal con el UTCI, durante el período 1995-2010. Fuente: elaboración propia.

7.3.2. La evolución del régimen bioclimático medio mensual y estacional de Natal a lo largo del periodo 1995 a 2010

La Figura 7.6 indica la clasificación del año medio de Natal para las frecuencias de días de cada mes para las temperaturas medias por el UTCI del período 1995-2010. Así las series muestran que en la clasificación se alargan entre dos períodos, "estrés moderado por calor" y "fuerte estrés por calor". El caso de fuerte estrés por calor representa el 65% de los días (236 días) y el período de estrés moderado por calor el 35% de los días (129 días). En este sentido, el año medio de la ciudad presenta una situación de sensación térmica para las temperaturas medias de fuerte estrés por calor representando las 2/3 parte del año. La ciudad tiene una situación principalmente diurna de días calurosos con una sensación de confort térmico desagradable para la población.

El año medio estacional de Natal debido a sus características tropicales está representado en líneas generales por dos períodos, uno lluvioso de marzo a agosto y otro seco de septiembre a febrero. En la Figura 7.6 se observa claramente que la frecuencia de la sensación térmica para las temperaturas medias por UTCI de la ciudad presenta el período de lluvias como de "estrés moderado por calor", principalmente en los meses de julio y agosto. Al contrario, en el período seco prevalece la sensación térmica de días con "fuerte estrés por calor".

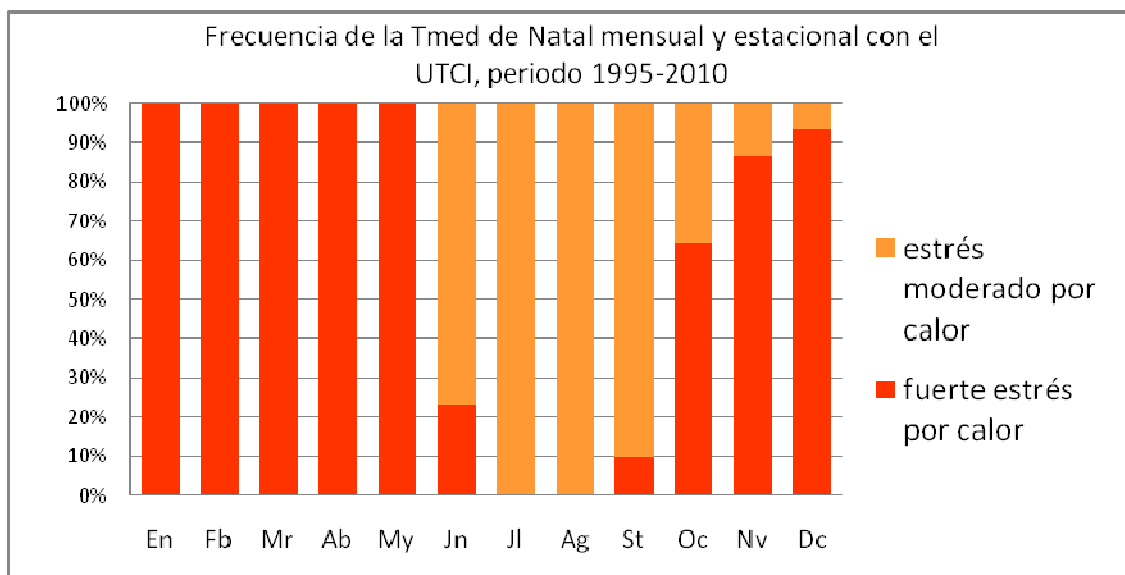


Figura 7.6. Régimen bioclimático medio mensual de Natal clasificado por las temperaturas medias con el UTCI, frecuencia de días de cada mes del período 1995-2010. Fuente: elaboración propia.

El año bioclimático medio de Natal está representado en la Figura 7.7 para la frecuencia de días de cada mes para las temperaturas máximas. La evolución térmica registrada muestra que para las temperaturas máximas la sensación térmica dominante es "fuerte estrés por calor" representa el 87% de los días (320 días) y otra notable presencia de aproximadamente el 12% de los días (45 días) con la preocupante sensación térmica de "muy fuerte estrés por calor" concentrados la estación de verano y otoño en los meses de febrero, marzo, abril y mayo. Así el año medio la ciudad presenta una situación de sensación térmica para las temperaturas máximas entre fuerte y muy fuerte estrés representando que en todo el año la ciudad tiene una situación diurna de días muy calurosos con una sensación de confort térmico muy incómoda para la población.

La sensación térmica para las temperaturas máximas del año medio estacional de Natal para el período lluvioso (Figura 7.7) se observa que la frecuencia de la sensación térmica de la ciudad está representada por "fuerte estrés por calor". Igualmente en el período seco prevalece en la mayoría de los días un "fuerte estrés por calor" y "muy fuerte estrés por calor".

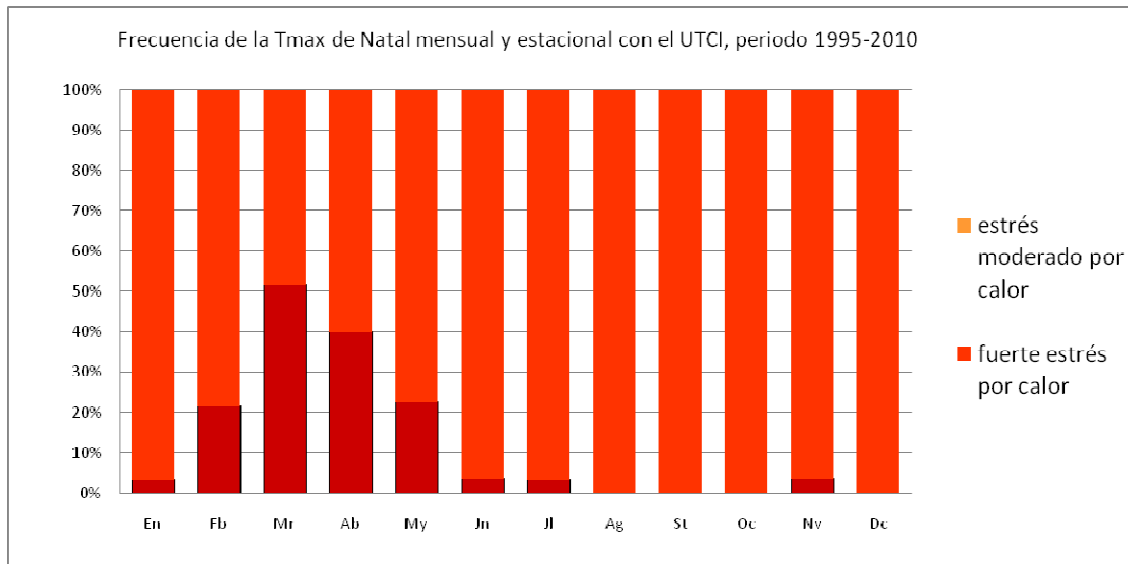


Figura 7.7. Régimen bioclimático medio mensual de Natal clasificado por las temperaturas máximas con el UTCI, frecuencia de días de cada mes del período 1995-2010. Fuente: elaboración propia.

La Figura 7.8 muestra la frecuencia de días de cada mes para las temperaturas mínimas. La evolución térmica constatada muestra que para las temperaturas mínimas la ciudad presenta casi todo el año con la sensación térmica buena de "estrés moderado por calor" representa el 94% de los días (344 días). Las otras dos situaciones son una de "fuerte estrés por calor" en aproximadamente el 3% de los días (10 días) concentrados en los meses de verano y otoño (febrero, marzo, abril y mayo) y la presencia de la sensación térmica de "sin estrés térmico" en aproximadamente el 3% de los días (11 días) concentrados la estación de invierno o de las lluvias en los meses de junio, julio y agosto. De esta manera, el año medio de la ciudad presenta una situación de sensación térmica para las temperaturas mínimas de moderado estrés para casi todo el año y eso es un cuadro normalmente muy representativo del período nocturno, esto es, una sensación de confort térmico de noches confortables.

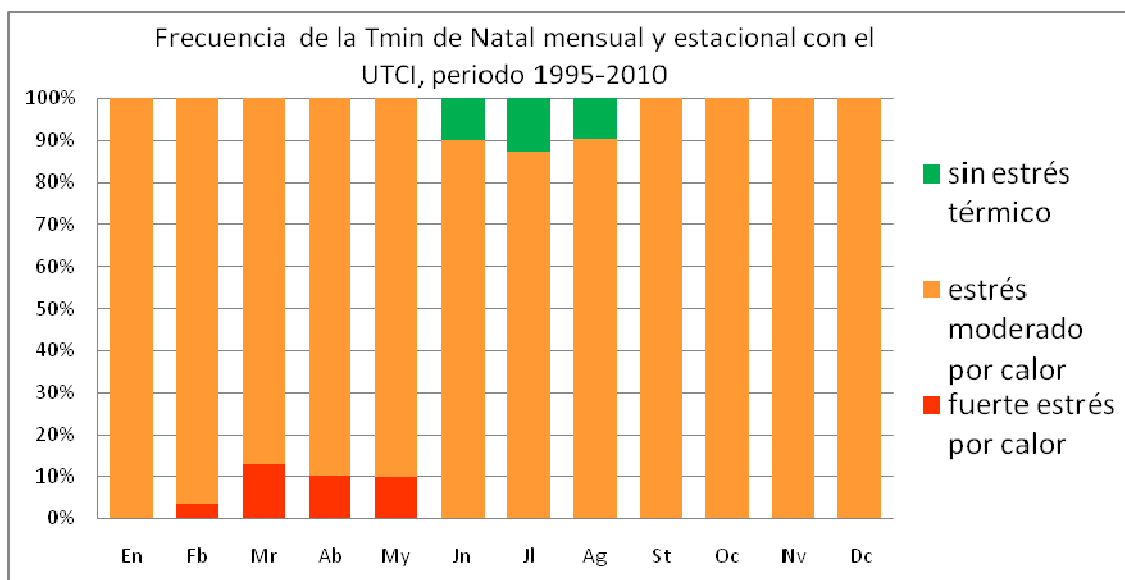


Figura 7.8. Régimen bioclimático medio mensual de Natal clasificado por las temperaturas mínimas con el UTCI, frecuencia de días de cada mes del período 1995-2010. Fuente: elaboración propia.

Estacionalmente durante la época de lluvias las sensaciones dominantes para las temperaturas mínimas (Figura 7.8) predomina el "estrés moderado por calor" y en algunos días de los meses de junio a agosto por "sin estrés térmico". En el período seco prevalece en la mayoría de los días un "estrés moderado por calor" y algunos días entre los meses entre febrero y mayo con la presencia de "fuerte estrés por calor".

7.4. LA VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL DE LAS SENSACIONES DE CONFORT TÉRMICO DE NATAL A PARTIR DE LOS TRANSECTOS DE 2011, 2012 Y 2013

7.4.1. Sensación térmica de Natal en Invierno

El período de invierno hace referencia a los meses típicos de lluvias (MJJA) con las temperaturas un poco más bajas. El resultado de los mapas de las temperaturas del confort térmico de invierno con el UTCI se han representados en los mapas de día 11 de julio de 2011 (Figura 7.9) y de 11 de julio de 2012 (Figura 7.11). Para las categorías de sensaciones del estrés térmico en los mapas del día 11 de julio de 2011 (Figura 7.10) y de 11 de julio de 2012 (Figura 7.12).

El día 11 de julio de 2011 en la Figura 7.9 nos muestran las diferentes temperaturas de estrés térmico a lo largo del día. Los valores más altos o con mayor estrés térmico, está en el período de la tarde concentrado en el Centro, zona Sur y Norte, pero se observa por la mañana en la zona Oeste y en la zona Norte de la ciudad. Concretamente los puntos en los cuales se registran los mayores valores del UTCI entre 30 a 31,5°C están en el Centro de la ciudad (R2.27 y R2.28) localizados en un barrio muy comercial, densamente poblado, con mucho asfalto y muy poca área verde. En la zona Norte alrededor del punto R2.13 área con una industrial y poblada y al Sur alrededor de los puntos R1.6, R1.7 y R1.8 igualmente área muy comercial (con dos grandes centros comerciales), con alta densidad poblacional, mucho asfalto y poca área verde.

El día 11 de julio de 2011 en la Figura 7.10 nos muestran las categorías dominantes de las sensaciones térmicas a lo largo del día. Ellos nos muestran un resultado muy homogéneo y destacado por la categoría de estrés moderado por el calor en los tres períodos para toda la ciudad. La única área sin estrés térmico (color verde) es por la noche pero muy restringida a la zona Norte.

El día 11 de julio de 2012 en la Figura 7.11 nos muestran las diferentes temperaturas de estrés térmico a lo largo del día. Los mayores valores están en el período de la tarde concentrado en el Centro, zona Norte y Oeste, de igual forma por la mañana en el Centro, zona Norte y zona Oeste de la ciudad. Específicamente por la tarde con excepción de la zona que comprende el Parque de las Dunas (Este) las demás áreas están con temperaturas por encima de 32°C y por la mañana en el Centro y en casi

toda la zona Norte se concentran las mismas altas temperaturas. Esto es reflejo de barrios muy comerciales, densamente poblados, con mucho asfalto y muy poca área verde, esto está muy reflejado en el Centro pero también en la zona Norte.

El día 11 de julio de 2012 en la Figura 7.12 nos muestran las categorías dominantes de las sensaciones térmicas a lo largo del día. En ellos se muestran un preocupante resultado de fuerte estrés por calor en todo el período de la tarde distribuido en toda el área de la ciudad, lo mismo ocurre por la mañana en el Centro y en la zona Norte. Al contrario, por las noche toda la ciudad está clasificada como un área sin estrés térmico (color verde). De modo que lo que se puede observar con esos resultados es que el área urbana muy edificada de la ciudad y con fuerte insolación por un lado contribuyen a las altas diurnas y por otro lado las temperaturas amables nocturnas son reflejo de una rápida pérdida de calor y la influencia muy concentrada de las áreas verdes.

7.4.1.1. Patrones de distribución espacial del confort térmico de Invierno

El índice de confort térmico del período de invierno en los mapas de 11 de julio 2011 (Figura 7.9) y de 11 de julio 2012 (Figura 7.11) muestran que las sensaciones térmicas en este período son más altas por las tardes y más frías por las noches. Es importante añadir el reflejo de las condiciones de lluvias que son distintas entre estos dos períodos, donde en el día 11 de julio de 2011 presentó un tiempo lluvioso durante todo el día, al contrario del día 11 de julio de 2012 con poca lluvia. Pero, en general entre estos dos períodos de la mañana hay una cierta uniformidad de las temperaturas con un rango entre 26°C a 34°C. Las zonas con las temperaturas más cálidas están en el período de las tardes oscilando entre 28°C a 35°C pero con pico de 37,8°C en el Centro y en la zona Sur y Oeste de la ciudad. El umbral para las temperaturas mínimas de sensación térmica están en el período de la noche entre 18,5°C a 28,5°C y las menores sensaciones térmicas son de 14,7°C a 16,7°C en la zona Sur de la ciudad.

Por tanto, se define las categorías de sensaciones térmicas en los mapas de 11 de julio 2011 (Figura 7.10) y de 11 de julio 2012 (Figura 7.12) para el período de invierno. Ambos muestran que el periodo con las menores sensaciones térmicas en la ciudad son por las noches clasificadas entre sin estrés térmico y estrés moderado por calor. Durante las mañanas las sensaciones térmicas en toda la ciudad está clasificada como estrés moderado por calor con excepción de Centro y parte de la zona Norte de la ciudad

clasificados como fuerte estrés por calor. Las más altas sensaciones térmicas se encuentran igualmente en el período de las tardes clasificadas entre fuerte estrés por calor y estrés moderado por calor.

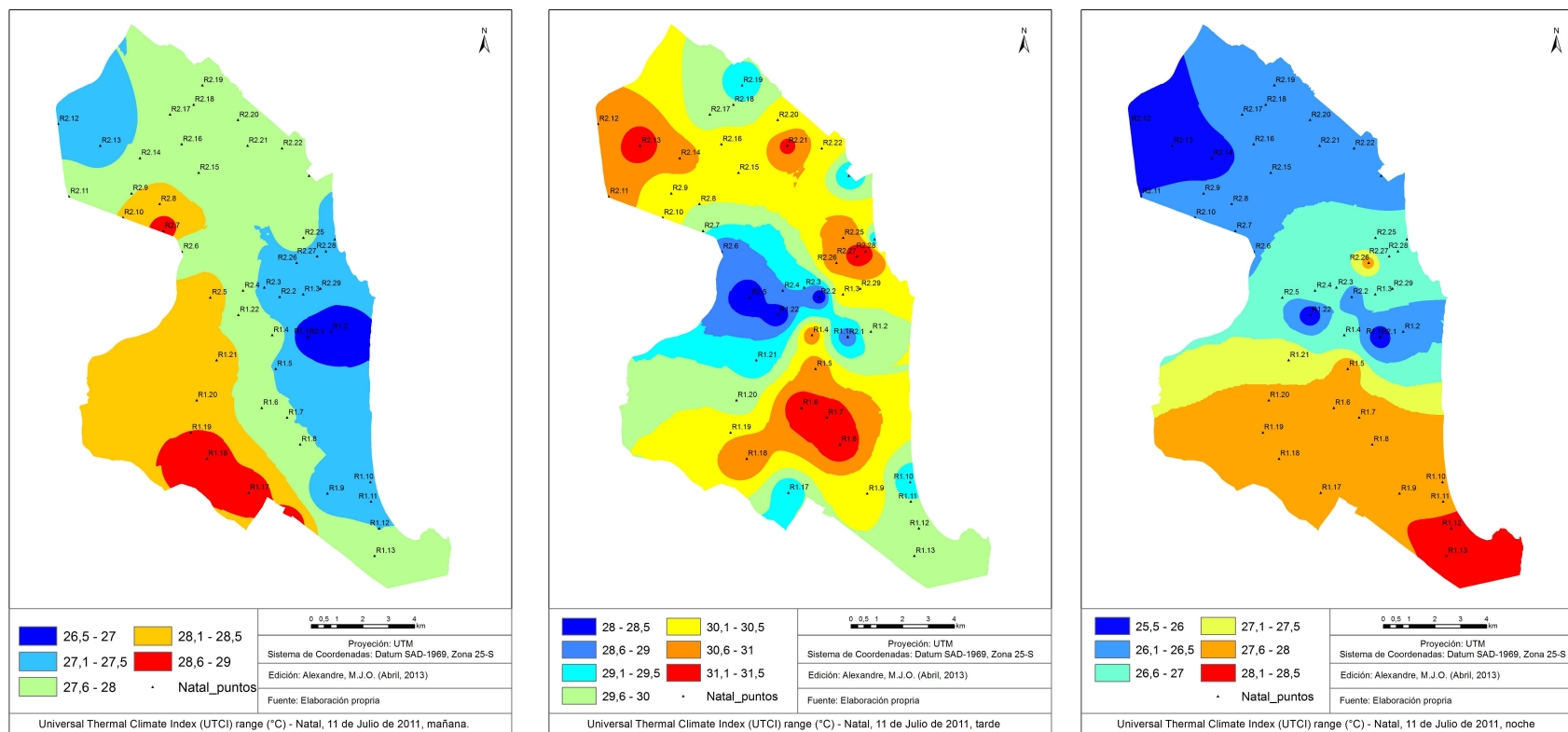


Figura 7.9. Mapas de las temperaturas del confort térmico de Invierno para Natal con el UTCI, 11 de julio de 2011, mañana, tarde y noche.
Fuente: Elaboración propia.

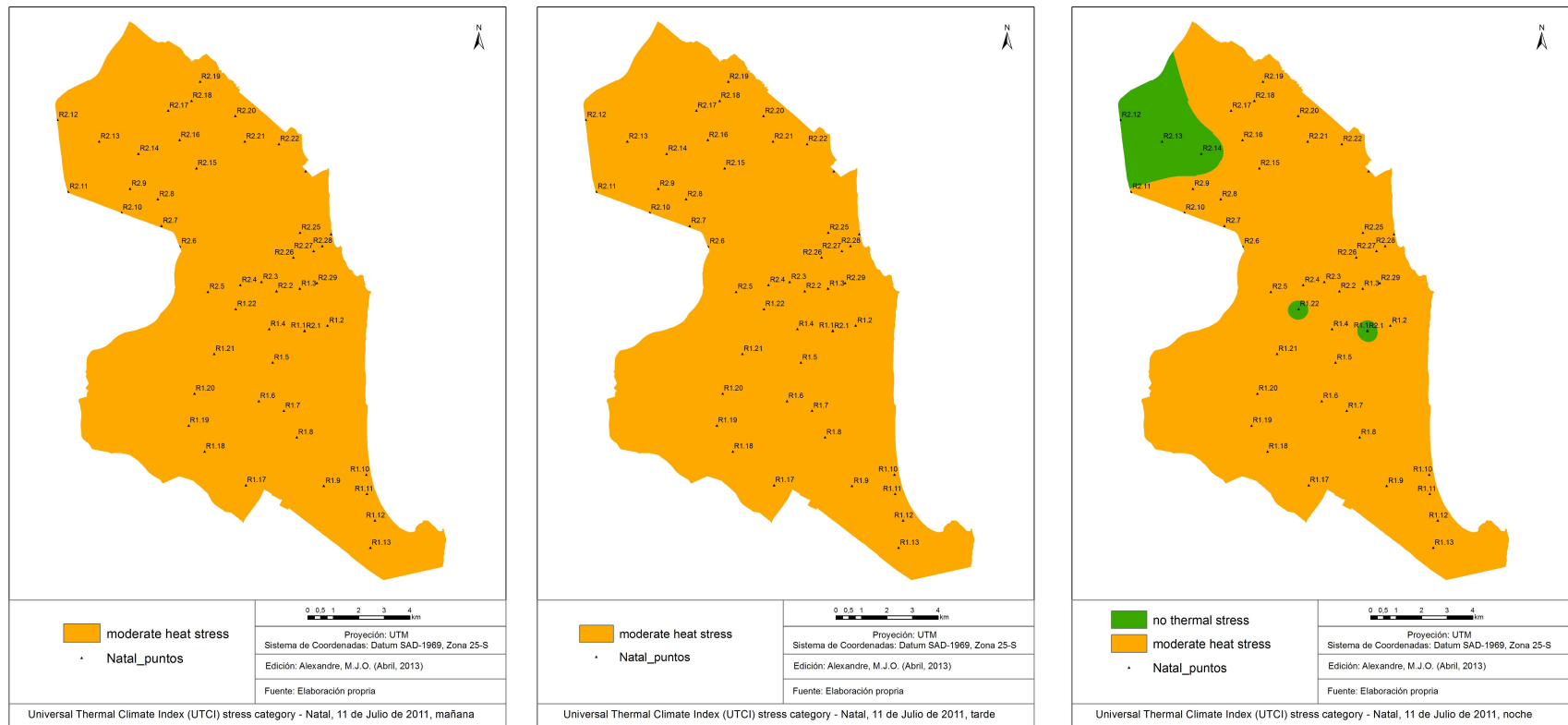


Figura 7.10. Mapas de las sensaciones de estrés térmico en invierno para Natal con el UTCI, 11 de julio de 2011, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.

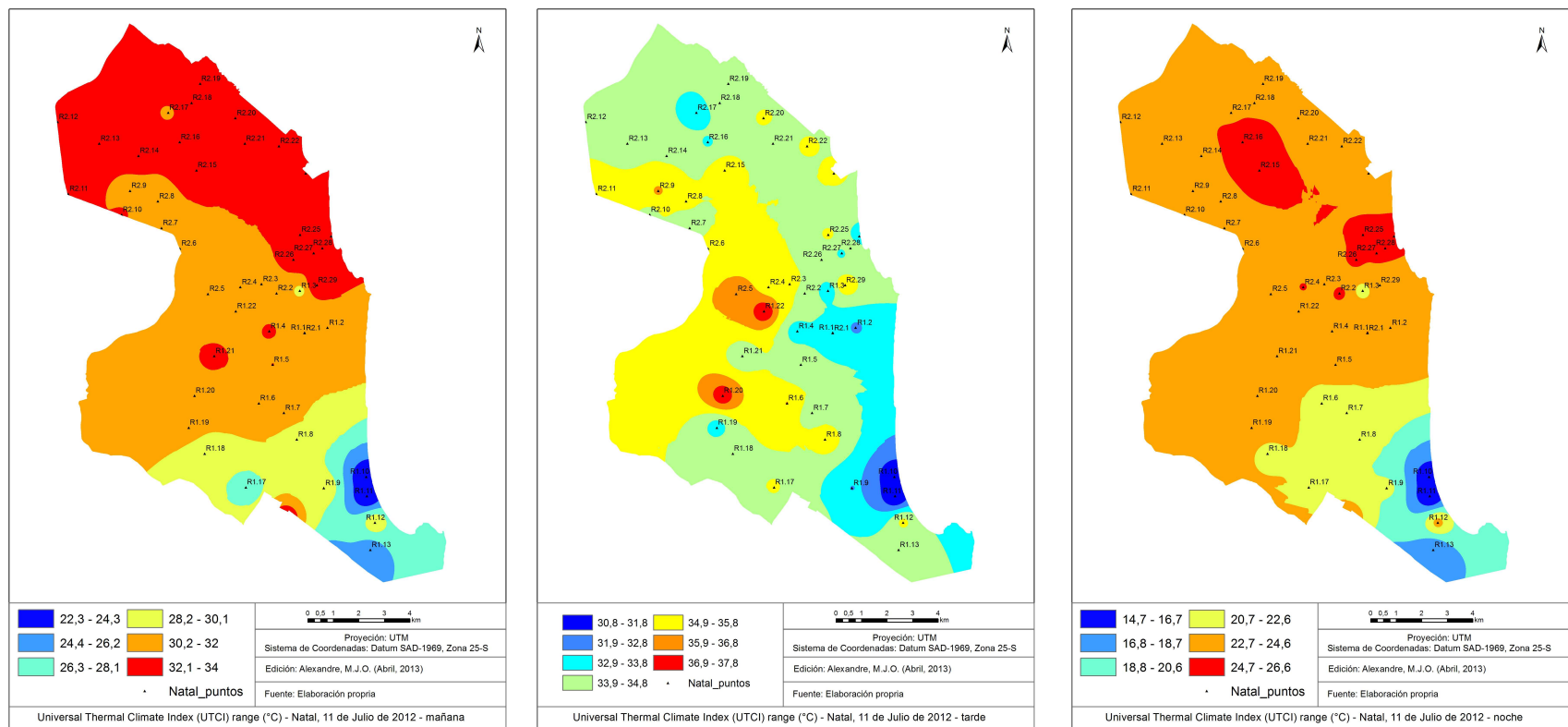


Figura 7.11. Mapas de las temperaturas del confort térmico de Invierno para Natal con el UTCI, 11 de julio de 2012, mañana, tarde y noche.
Fuente: Elaboración propia.

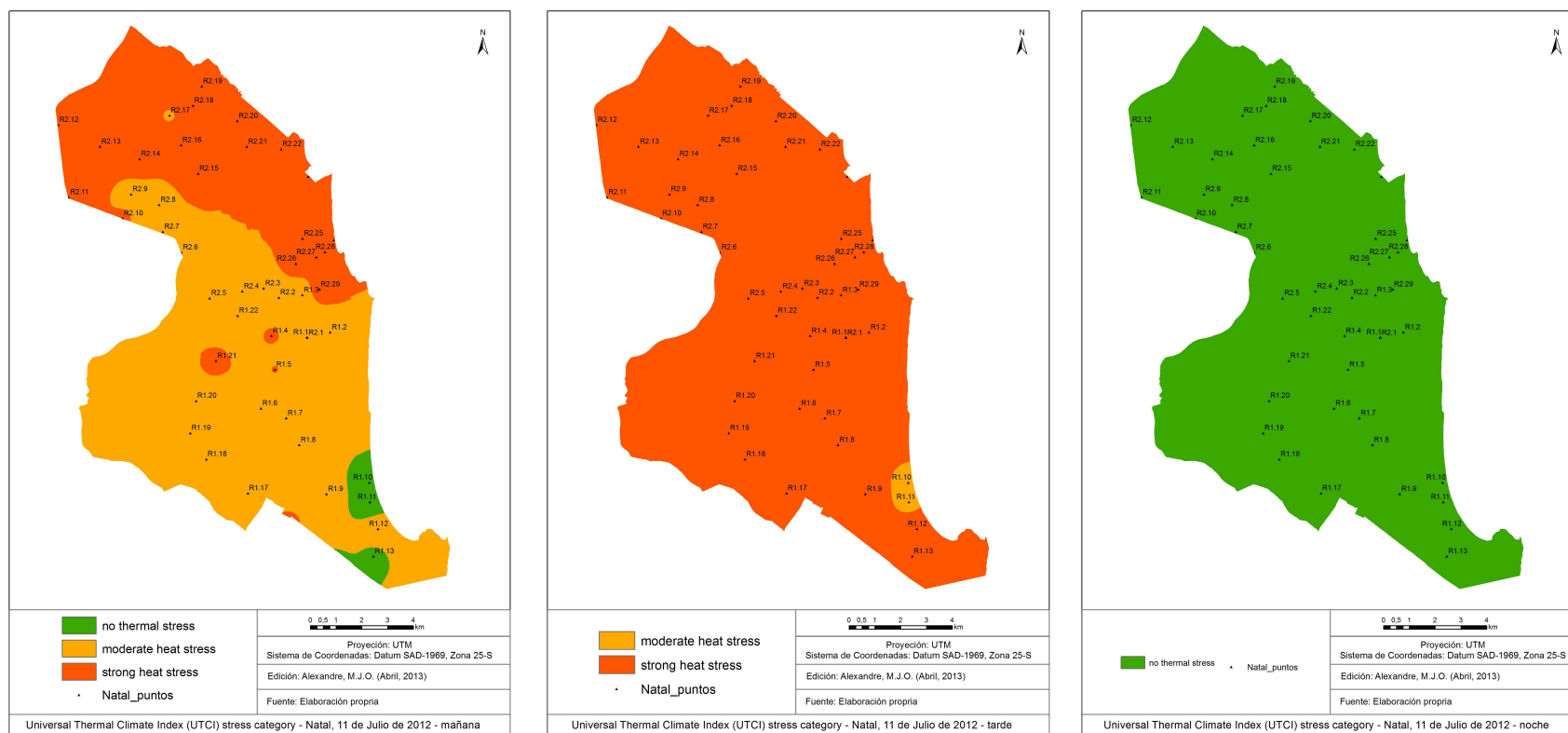


Figura 7.12 Mapas de las sensaciones de estrés térmico en invierno para Natal con el UTCI, 11 de julio de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.

7.4.2. Sensación térmica de Natal en Primavera

El resultado del confort térmico de primavera con el UTCI se puede observar en los mapas de las temperaturas de 6 de octubre de 2011 (Figura 7.13) y en los mapas de las temperaturas del día 24 de octubre de 2012 (Figura 7.15). Para las categorías del estrés térmico en los mapas de las sensaciones de 6 de octubre de 2011 (Figura 7.14) y en los mapas de las sensaciones del día 24 de octubre de 2012 (Figura 7.16). La primavera (OND) registra las temperaturas cálidas y en ascensión y es un período de sequía en la ciudad de Natal.

El día 6 de octubre de 2011 (Figura 7.13) nos muestran las diferentes temperaturas de estrés térmico a lo largo del día. En el período de la tarde se observan valores muy altos por encima de 32°C en prácticamente toda la ciudad con excepción de puntos aislados en el Centro y zonas Norte y Sur. También se registran temperaturas igualmente altas (mayores de 32°C) en el período de la mañana desde la zona Norte hacia al Sur de la ciudad. Así pues, los puntos en los cuales se registran los mayores valores del UTCI están en Centro de la ciudad (R2.25 y R2.29) localizados en un barrio muy comercial, densamente poblado, con mucho asfalto y muy poca área verde. En la zona Norte alrededor del punto R2.11 se encuentra un área industrial y poblada y al Sur alrededor del punto R1.12 localizada frente a la playa se concentran predios residenciales muy altos.

El día 6 de octubre de 2011 (Figura 7.14) nos muestran las categorías dominantes de las sensaciones térmicas a lo largo del día. El resultado es muy homogéneo y dominado por la preocupante categoría de fuerte estrés por calor en el período de la mañana y tarde en toda la ciudad y por estrés moderado por calor en algunas áreas por las mañanas. Mientras, en el período nocturno prevalece la categoría de sin estrés térmico (color verde) en toda la ciudad con excepción de la categoría de estrés moderado por calor en el Centro y en la zona Norte alrededor del tramo comercial e industrial.

El día 24 de octubre de 2012 (Figura 7.15) nos muestran las diferentes temperaturas de estrés térmico a lo largo del día. El período de la tarde presenta valores por encima de los 32°C en toda la ciudad y valores extremadamente altos por encima de 38°C en el Centro y en la zona Norte de la ciudad. Por la mañana los valores están por encima de 32°C en el Centro y en la zona Norte. Estos valores muy altos son reflejo de

los barrios muy comerciales, densamente poblados, con mucho asfalto y muy poca área verde muy reflejados en el Centro pero también en la zona Norte.

El día 24 de octubre de 2012 (Figura 7.16) nos muestran las categorías dominantes de las sensaciones térmicas a lo largo del día. El resultado es alarmante en el Centro y extendiéndose por la zona Norte de muy fuerte estrés por calor, esto es, representa valores de sensación térmica por encima de 38°C. Ya por la mañana presenta valores de fuerte estrés por calor en todo el Centro, zona Norte y Oeste, pero estrés moderado por calor en la zona Sur. Por la noche, la presencia de la categoría de estrés moderado por calor prevalece en toda la ciudad y con un área sin estrés en la zona Sur. A pesar de las condiciones meteorológicas y sinópticas el área urbana muy edificada de la ciudad es una fuerte condición para las altas de temperaturas y clases de UTCI muy concentrada de las áreas verdes.

7.4.2.1. Patrones de distribución espacial del confort térmico de Primavera

El índice de confort térmico del período de primavera en los mapas de 06 de octubre de 2011 (Figura 7.13) y de 24 de octubre de 2012 (Figura 7.15) muestra que las sensaciones térmicas en este período son más altas por las tardes y más agradable por las noches. Además de las condiciones meteorológicas y sinópticas el período de primavera es el período de sequía y con las temperaturas más altas y en ascensión en la ciudad. Pero en general entre estos dos períodos de la mañana hay una cierta uniformidad de las temperaturas con un rango entre 27°C a 38°C. Las zonas con las temperaturas más cálidas están en el período de las tardes oscilando entre 30°C a 45°C, la mayor sensación térmica se produce con el preocupante umbral de 42,8°C a 44,9°C en el Centro y en la zona Norte de la ciudad. El umbral de las temperaturas mínimas de sensación térmica están en el período de la noche entre 17°C a 28,5°C y las menores sensaciones térmicas de 16,4°C a 17,4°C en el extremo Sur de la ciudad.

Se define las categorías de sensaciones térmicas en los mapas 6 de octubre de 2011 (Figura 7.14) y de 24 de octubre de 2012 (Figura 7.16) para el período de primavera. Así, el turno con las menores sensaciones térmicas en la ciudad son por las noches clasificada entre sin estrés térmico y estrés moderado por calor. En el período de las mañanas las sensaciones térmicas en toda la ciudad está clasificada entre estrés moderado por calor y fuerte estrés por calor. Las más altas sensaciones térmicas se encuentran igualmente en el período de las tardes clasificadas entre fuerte estrés por

calor y preocupantes muy fuerte estrés por calor en el Centro extendiéndose para la zona Norte de la ciudad.

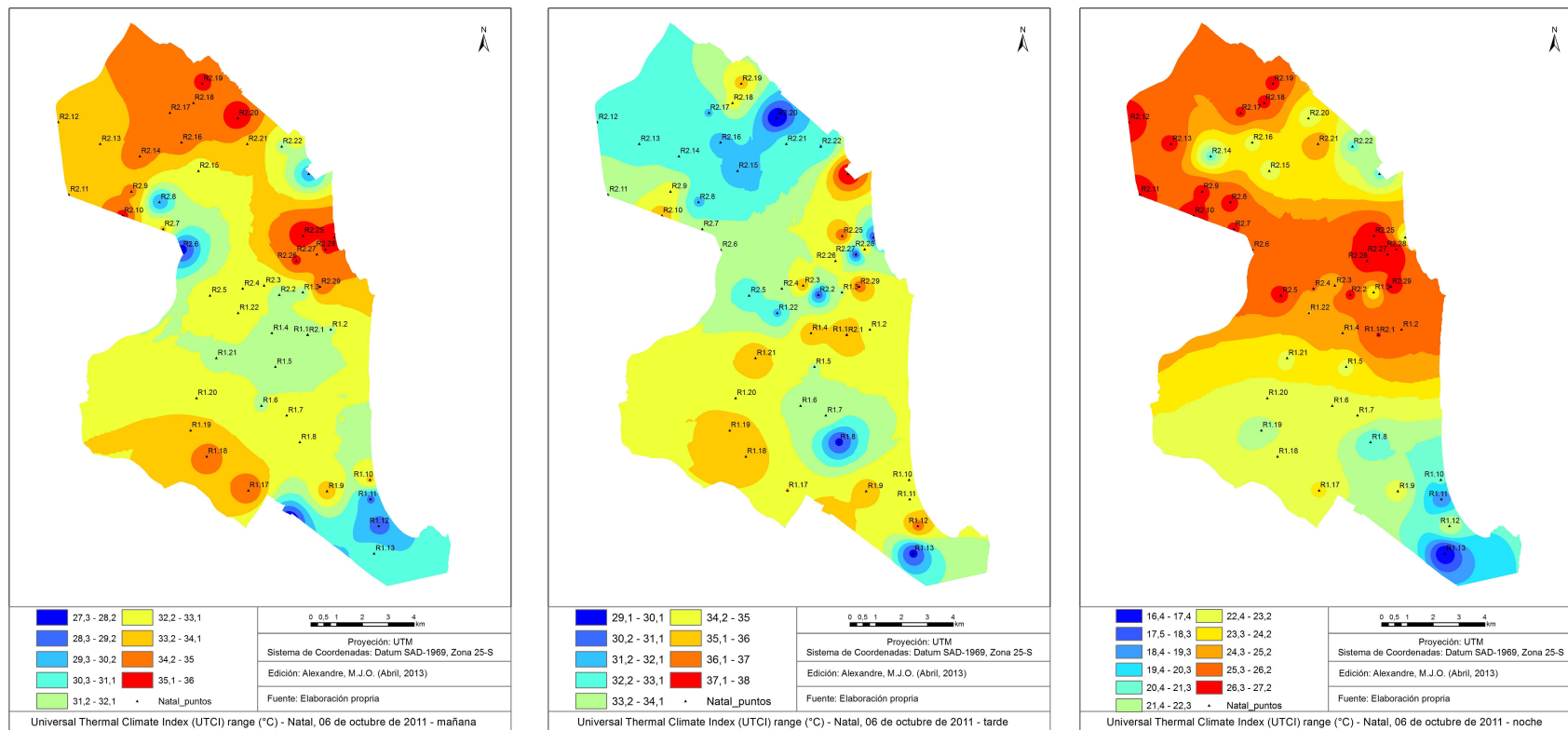


Figura 7.13. Mapa de las temperaturas del confort térmico de Primavera para Natal con el UTCI, 06 de octubre de 2011, mañana, tarde y noche.
Fuente: Elaboración propia.

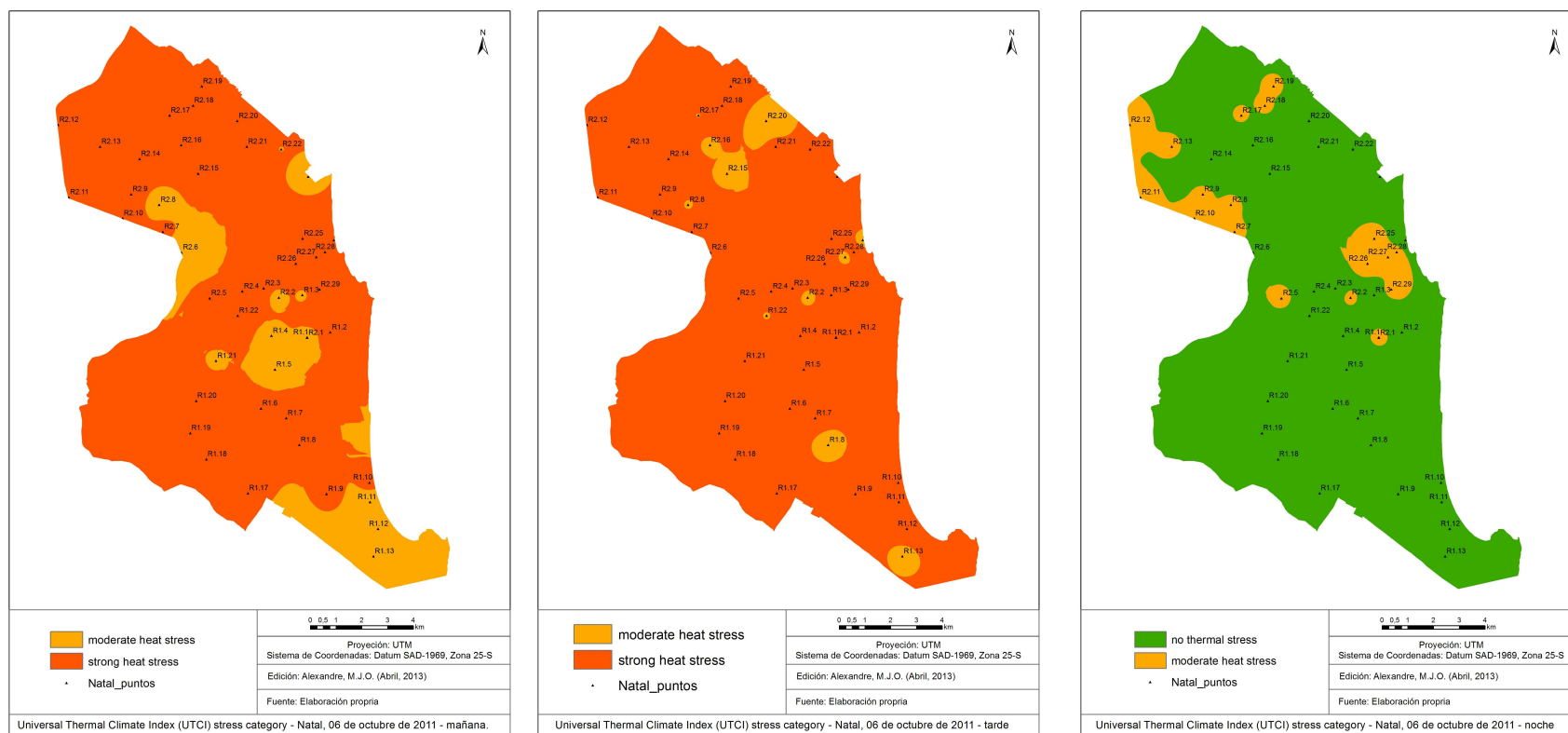


Figura 7.14. Mapa de las sensaciones de estrés térmico en primavera para Natal con el UTCI, 6 de octubre de 2011, mañana, tarde y noche.
Fuente: elaboración propia.

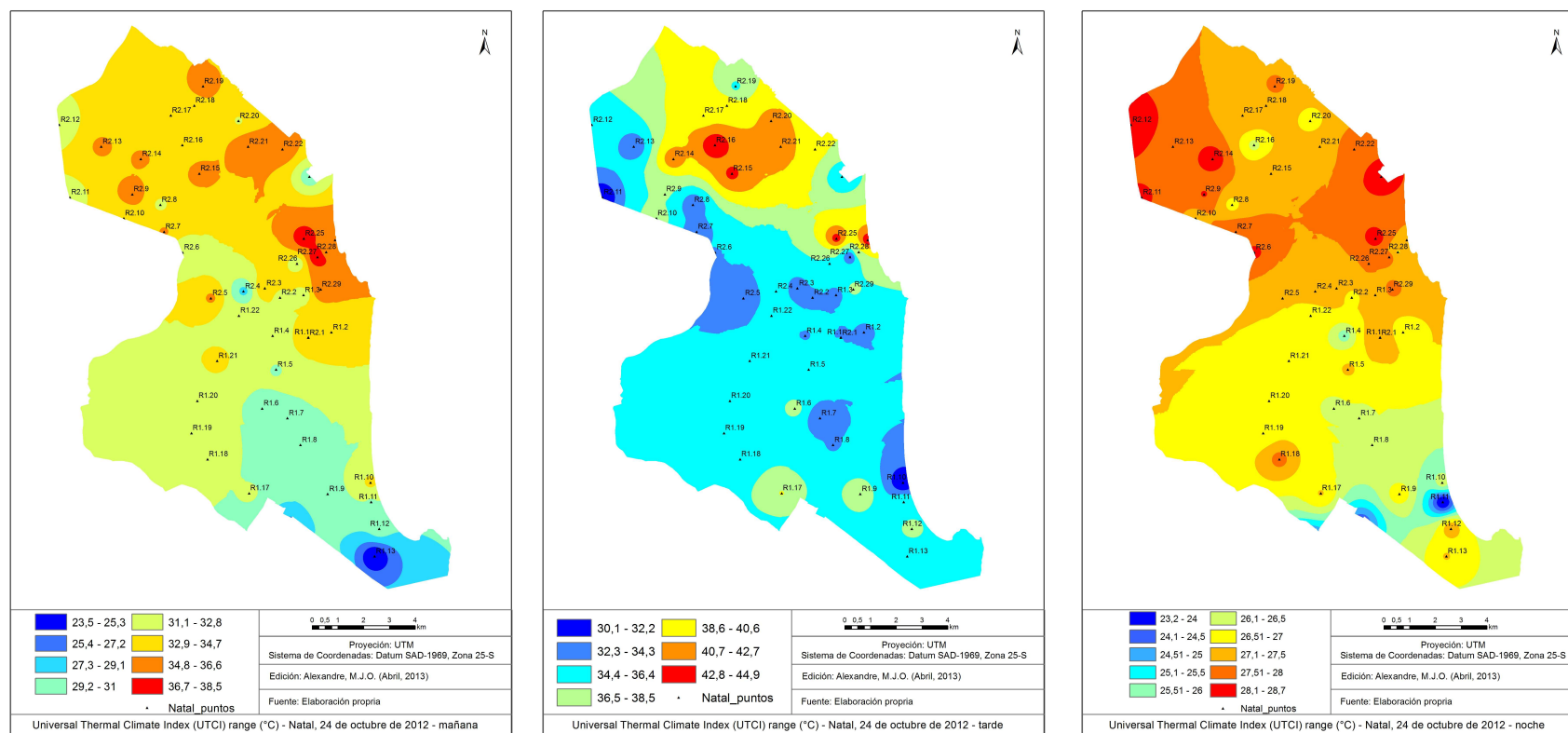


Figura 7.15. Mapa de las temperaturas del confort térmico de Primavera para Natal con el UTCI, 24 de octubre de 2012, mañana, tarde y noche.
Fuente: Elaboración propia.

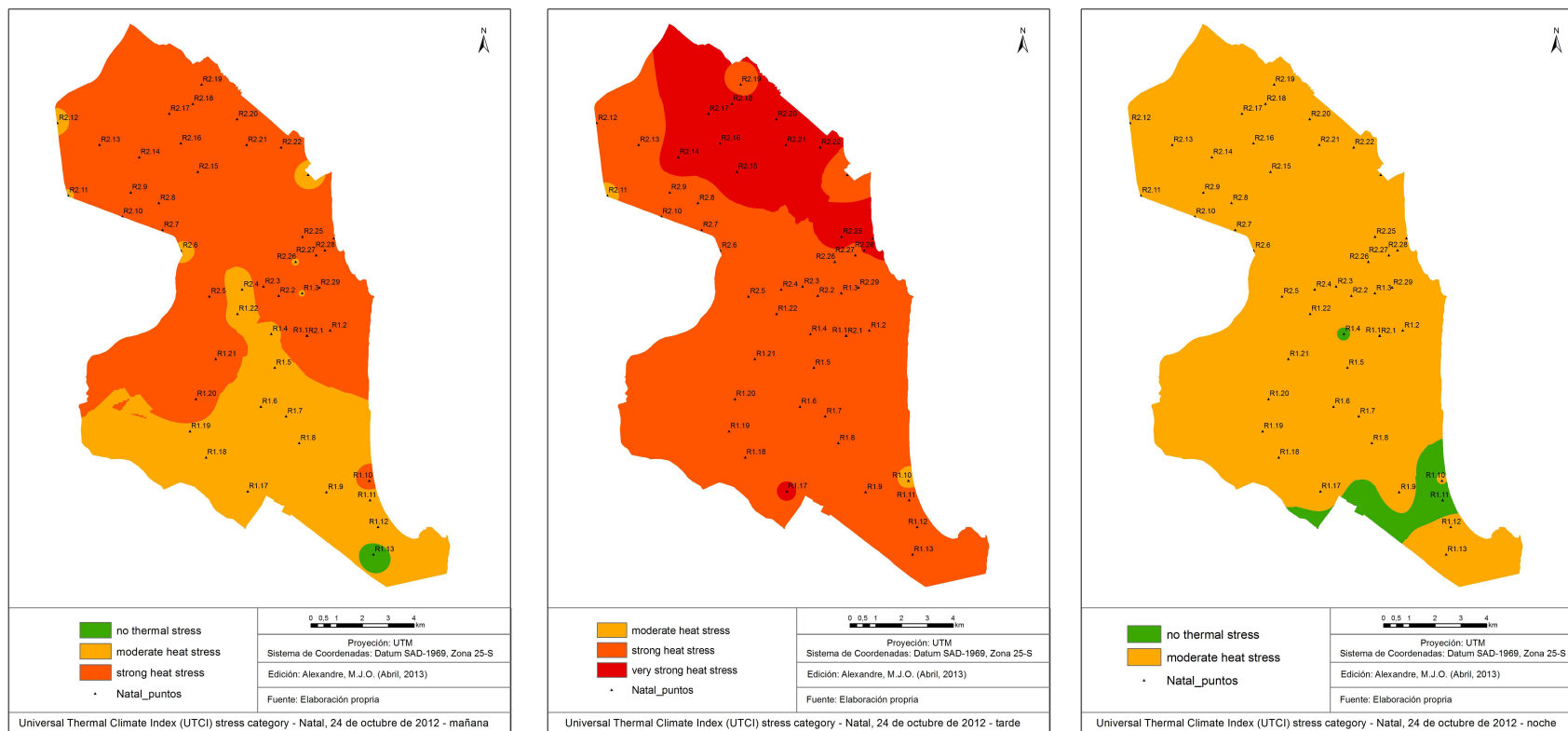


Figura 7.16. Mapa de las sensaciones de estrés térmico en primavera para Natal con el UTCI, 24 de octubre de 2012, mañana, tarde y noche.
Fuente: elaboración propia.

7.4.3. Sensación térmica de Natal en Verano

El resultado del confort térmico de verano con el UTCI se puede observar en los mapas de las temperaturas de 26 de enero de 2012 (Figura 7.17) y en los mapas de las temperaturas del día 24 de enero de 2013 (Figura 7.19). Para las categorías del estrés térmico en los mapas de las sensaciones térmicas de 26 de enero de 2012 (Figura 7.18) y en los mapas de las sensaciones térmicas del día 24 de enero de 2013 (Figura 7.20). El verano registra las temperaturas más cálidas y es un período de baja precipitación en Natal.

El día 26 de enero de 2012 (Figura 7.17) nos muestran las diferentes sensaciones temperaturas de estrés térmico a lo largo del día. Se observan los valores máximos de temperaturas entre 32°C a 34°C en el período de la tarde en el Centro y en la zona Norte de la ciudad. Por la mañana los puntos más calientes están en la zona Sur y en la zona Norte con valores 28,5°C a 30°C y por la noche los valores máximos entre 29°C a 30°C en el Centro y en la zona Sur de la ciudad. De ahí los puntos en los cuales se registran los mayores valores del UTCI están en el período de la tarde en el Centro de la ciudad (R2.27 y R2.28) localizados en un barrio muy comercial, densamente poblado, con mucho asfalto y muy poca área verde. En la zona Norte alrededor del punto R2.13, área industrial y muy poblada.

El día 26 de enero de 2012 (Figura 7.18) nos muestran las categorías dominantes de las sensaciones térmicas a lo largo del día. El resultado es muy homogéneo y dominado en los tres períodos por la categoría de estrés moderado por calor, la única excepción es por la tarde con la presencia de la categoría de fuerte estrés por calor en el Centro extendiéndose por la zona Norte de la ciudad.

El día 24 de enero de 2013 (Figura 7.19) nos muestran las diferentes temperaturas de estrés térmico a lo largo del día. El período de la tarde ostenta valores por encima de los 32°C en toda la ciudad y valores extremadamente altos por encima de 38°C en la zona Sur y Oeste de la ciudad. Por la mañana los valores están por encima de 32°C en el Centro y en la zona Norte. Estos valores muy altos es reflejo de los barrios muy comerciales, densamente poblados, con mucho asfalto y muy poca área verde, algo muy reflejado en el Centro pero también en la zona Norte.

El día 24 de enero de 2013 (Figura 7.20) nos muestran las categorías dominantes de las sensaciones térmicas a lo largo del día. El resultado es muy alarmante con la sensación de muy fuerte estrés por calor en el período de la tarde en el Sur y Oeste,

representa valores de sensación térmica por encima de 38°C . Ya por la mañana presenta valores de fuerte estrés por calor en partes del Centro, zona Norte, Oeste y Sur. Por la noche, la presencia de la categoría de estrés moderado por calor prevalece en toda la mitad oriental de la ciudad y el área sin estrés en la otra mitad occidental de la ciudad. A pesar de las condiciones meteorológicas y sinópticas del verano, es el período de la tarde cuando presenta las categorías de sensación térmica más preocupantes y de hecho el área urbana muy edificada de la ciudad es un fuerte condicionante para las altas de temperaturas y clases de UTCI.

7.4.3.1. Patrones de distribución espacial del confort térmico de Verano

El índice de confort térmico del período de verano en los mapas del día 26 de enero de 2012 (Figura 7.17) y de 24 de enero de 2013 (Figura 7.19) muestran que las sensaciones térmicas en este período son más altas por las tardes y más frescas por las noches. Además de los condicionantes dinámicos meteorológicos y sinópticos, el período de verano es típico de altas temperaturas y lluvias esporádicas en la ciudad. Pero en general, las temperaturas se presentan con un rango entre los 26°C a 34°C . Las zonas con las temperaturas más cálidas están en el período de la tarde, oscilando entre 29°C a 45°C , en especial la mayor sensación térmica con el preocupante umbral de 42°C a 45°C localizadas en el Centro y zona Norte de la ciudad. El umbral de las temperaturas mínimas de sensación térmica está en el período de la noche entre 20°C a 30°C siendo las menores sensaciones térmicas entre 20°C a 22°C en el extremo Sur de la ciudad.

Se define las categorías de sensaciones térmicas en los mapas de 26 de enero de 2012 (Figura 7.18) y de 24 de octubre de 2012 (Figura 7.20) para el período de verano. En el período de verano muestran que el turno con las menores sensaciones térmicas en la ciudad son por las noches, clasificadas entre estrés moderado por calor y sin estrés térmico. En el período de las mañanas las sensaciones térmicas en toda la ciudad están clasificadas entre estrés moderado por calor y fuerte estrés por calor. Las más altas sensaciones térmicas se encuentran en el período de las tardes clasificadas entre estrés moderado por calor, muy fuerte estrés por calor y el preocupante muy fuerte estrés por calor en la zona Sur y Oeste de la ciudad.

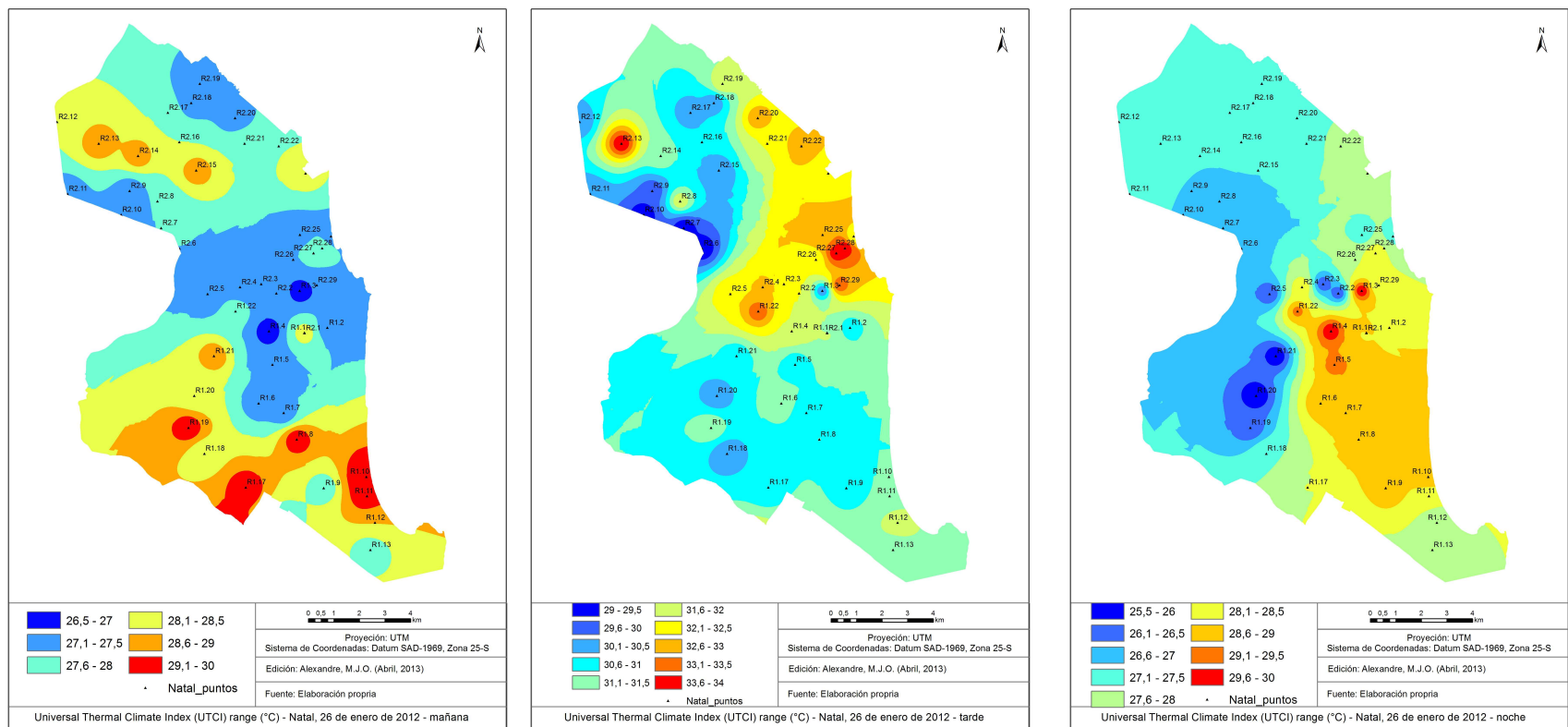
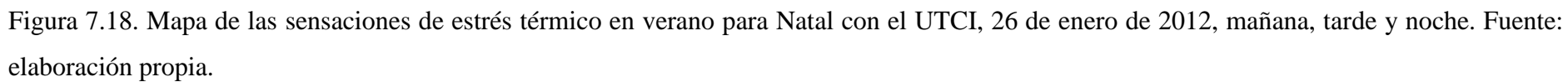


Figura 7.17. Mapa de las temperaturas del confort térmico de Verano para Natal con el UTCI, 26 de enero de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: Elaboración propia.



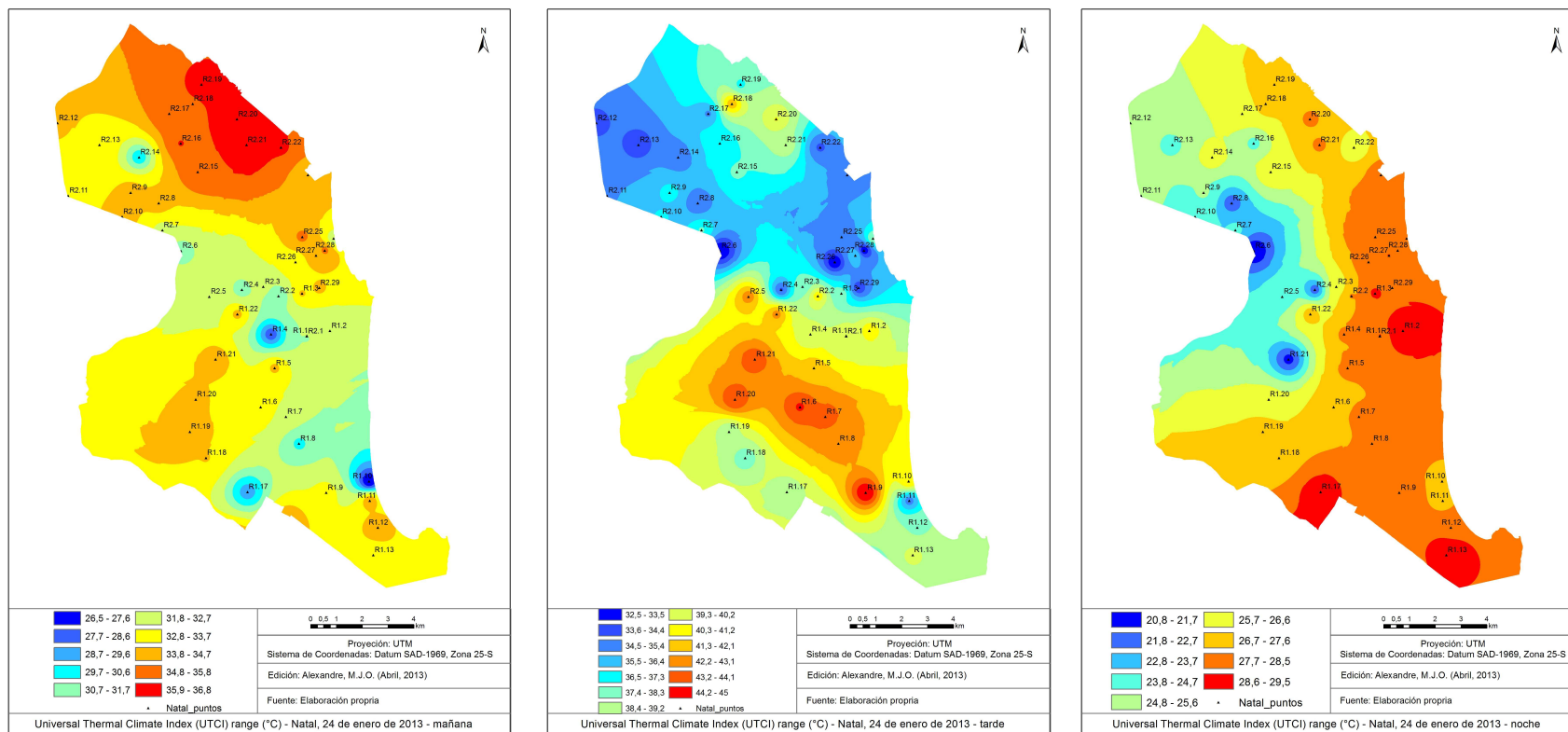


Figura 7.19. Mapa de las temperaturas del confort térmico de Verano para Natal con el UTCI, 24 de enero de 2013, mañana, tarde y noche. Fuente: Elaboración propia.

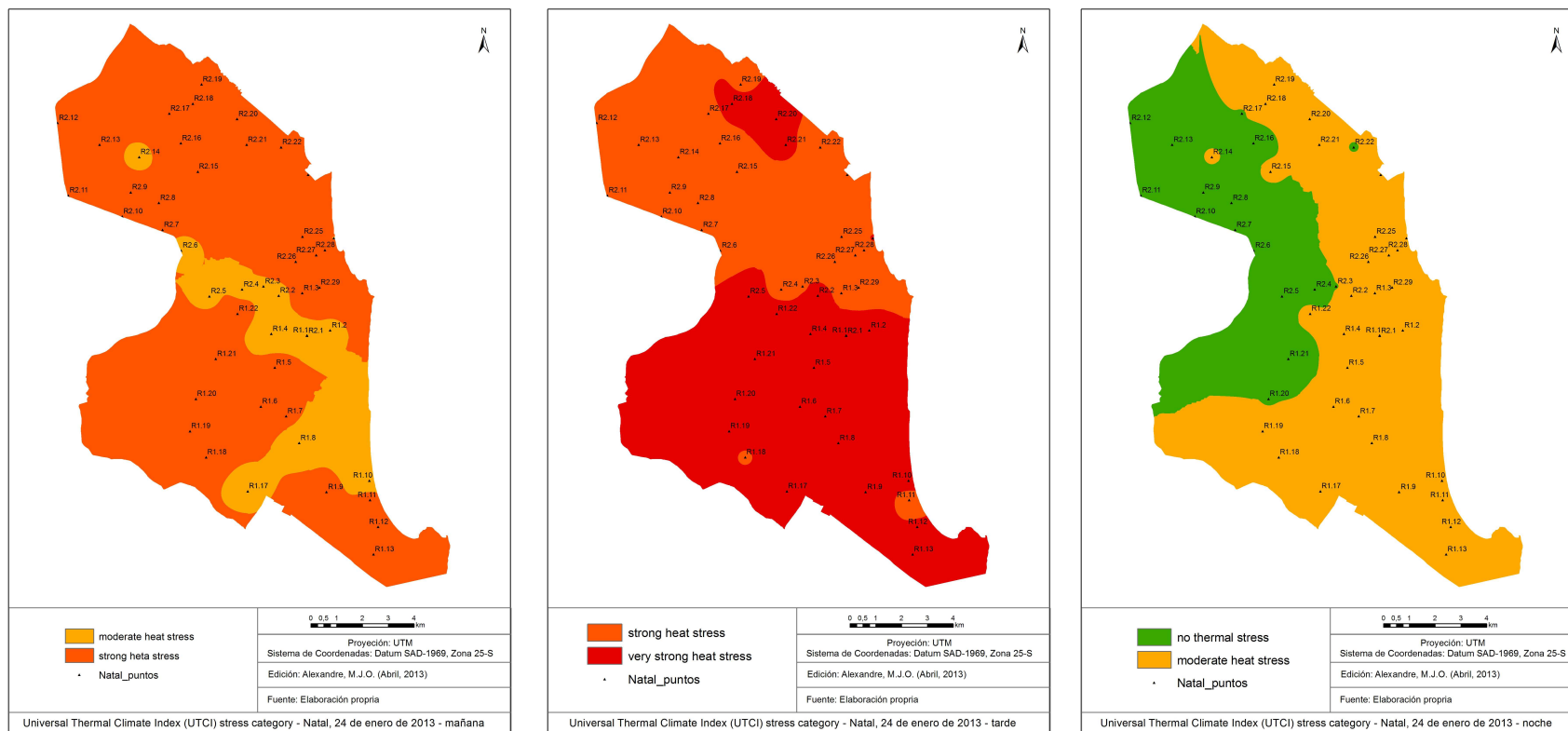


Figura 7.20. Mapa de las sensaciones de estrés térmico en verano para Natal con el UTCI, 24 de enero de 2013, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.

7.4.4. Sensación térmica de Natal en Otoño

El resultado del confort térmico de otoño con el UTCI se puede observar en los mapas de las temperaturas de de 26 de abril de 2012 (Figura 7.21) y para las categorías del estrés térmico en los mapas de las sensaciones de 26 de abril de 2012 (Figura 7.22). El otoño es el período de los meses de temperaturas cálidas pero con la presencia de las lluvias en la ciudad.

El día 26 de abril de 2012 (Figura 7.21) nos muestran las diferentes temperaturas de estrés térmico a lo largo del día. El rango de las temperaturas con los más preocupantes y mayores valores están en el período de la tarde en toda la ciudad. Por la mañana los valores más altos están en el Centro y en la zona Norte de la ciudad y por la noche de igual forma en puntos del Centro y en la zona Norte de la ciudad. Concretamente los puntos en los cuales se registran los mayores UTCI con los preocupantes valores de 39°C a 45,2°C están en Centro de la ciudad (R2.27, R2.28 y R2.3) localizados en un barrio muy comercial, densamente poblado, con mucho asfalto y muy poca área verde. En la zona Norte alrededor del punto R2.9 y R2.10, un área industrial y poblada.

El día 26 de abril de 2012 (Figura 7.22) nos muestran las categorías dominantes de las sensaciones térmicas a lo largo del día. El resultado presenta un preocupante valor en el período de la tarde de fuerte estrés por calor en toda el área de la ciudad además de la alarmante categoría de muy fuerte estrés por calor distribuido en puntos del Centro y en la zona Norte, además de puntos aislados al Sur de la ciudad. Al contrario, por las noches y por la mañana prevalece en casi toda la ciudad la categoría de estrés moderado por calor y con algunos puntos aislados de las categorías de fuerte estrés por calor y sin estrés térmico. De igual modo que además de las condiciones meteorológicas y sinópticas lo que se puede observar con esos resultados es que el área urbana muy edificada de la ciudad y la fuerte insolación por un lado contribuyen a las altas en el período de la tarde y por otro lado las temperaturas amables nocturnas son reflejo de una rápida pérdida de calor.

7.4.4.1. Patrones de distribución espacial del confort térmico de Otoño

El índice de confort térmico del período de otoño en los mapas del día 26 de abril de 2012 (Figura 7.21) muestra que las sensaciones térmicas en este período son más altas por las tardes y más frescas por las noches. Pero en general, las condiciones

meteorológicas de este período son la presencia de precipitaciones ocasionales y un pequeño descenso de las temperaturas en la ciudad. Entre estos dos períodos el rango de las temperaturas de las sensaciones térmicas está entre 24°C a 45°C. Las zonas con las temperaturas más cálidas están en el período de las tardes oscilando entre 30°C a 41°C pero con pico entre 41°C a 45,2°C en el Centro. El período nocturno el umbral de la sensación térmica oscila entre 24,2°C a 31,7°C y las menores sensaciones térmicas entre 24°C a 26°C están en puntos aislados en la zona Sur, Centro y zona Norte.

Se define las categorías de sensaciones térmicas en los mapas de 26 de abril de 2012 (Figura 7.22) para el período de otoño. Las categorías del estrés térmico muestran que en los períodos de la mañana y noche son muy semejantes, en ambas prevalece la clasificación de estrés moderado por calor. Mientras, el período de la tarde es el de más altas sensaciones térmicas clasificadas entre fuerte estrés por calor y muy fuerte estrés por calor.

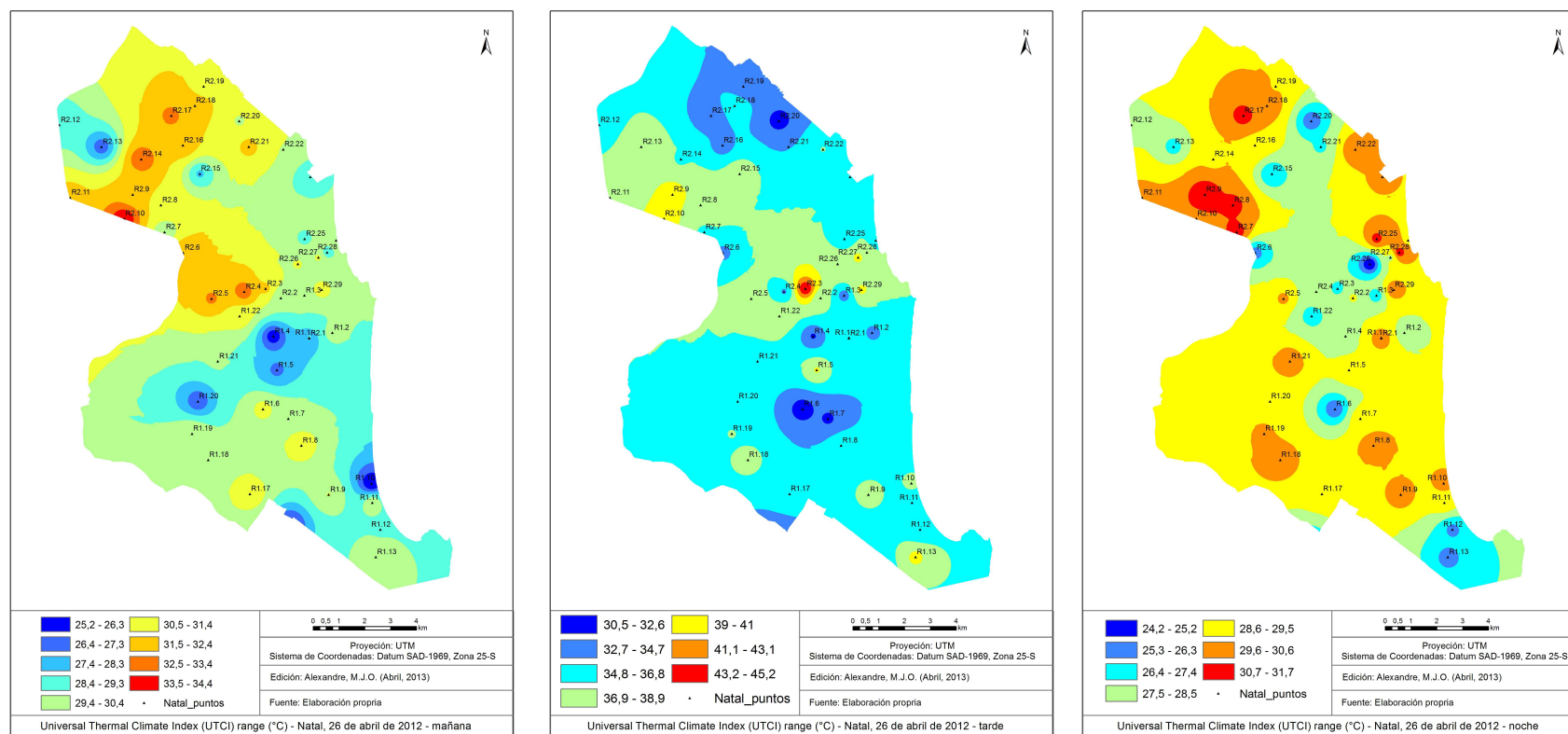


Figura 7.21. Mapa de las temperaturas del confort térmico de Otoño para Natal con el UTCI, 26 de abril de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: Elaboración propia.

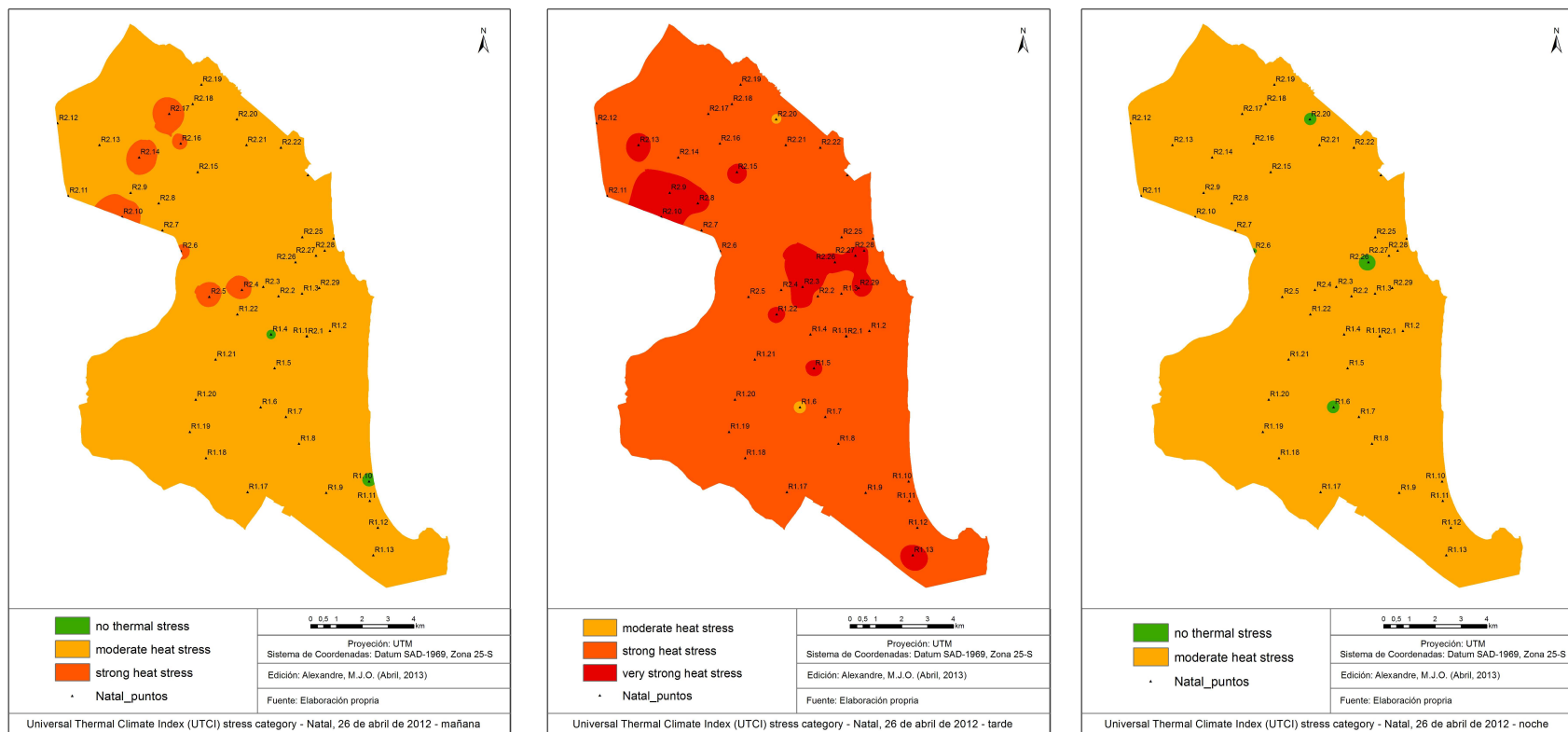


Figura 7.22. Mapa de las sensaciones de estrés térmico en otoño para Natal con el UTCI, 26 de abril de 2012, mañana, tarde y noche. Fuente: elaboración propia.

7.5. CONCLUSIÓN

El análisis del régimen bioclimático medio de Natal hace frente a las nuevas líneas de investigación en priorizar la bioclimatología en los estudios de clima urbano. La aplicación de un índice de confort térmico es esencial para el conocimiento de las sensaciones térmicas del ambiente urbano además de mejorar la gestión y el desarrollo sostenible del ambiente urbano.

El régimen diario predomina la sensación de fuerte estrés por calor (32 a 38°C) durante el periodo diurno y por las noches el estrés moderado por calor (26 a 32°C), así los días son calurosos y las noches son agradables y frescas.

La evaluación del confort térmico del año medio y de las temperaturas del aire de Natal está en la tabla 7.2. El resultado muestra que el período de invierno es el período que presenta las mejores condiciones de confortabilidad con valores entre moderado y sin estrés, al contrario en la primavera, verano y otoño se presentan los resultados más preocupantes con fuerte estrés por calor. En todos los casos el período nocturno es el de mejor condición de confortabilidad con valores sin estrés térmico o sin molestias térmicas en Natal.

Tabla 7.2 - Las temperaturas de aire (TA) y el índice de confort térmico universal (UTCI) de Natal, años de 2011, 2012 y 2013.

Estación	Fecha	Turno	TA	UTCI
Invierno	11/07/2011	Mañana	27,7	28,7
		Tarde	30,0	30,7
		Noche	26,9	27,4
	11/07/2012	Mañana	26,2	30,9
		Tarde	28,9	34,4
		Noche	23,3	23,2
Primavera	06/10/2011	Mañana	28,5	32,8
		Tarde	31,1	33,8
		Noche	24,7	24,1
	24/10/2012	Mañana	27,9	32,7
		Tarde	31,8	36,2
		Noche	26,4	27,1
Verano	26/01/2012	Mañana	27,9	31,0
		Tarde	31,4	34,2
		Noche	27,6	25,9
	24/01/2013	Mañana	28,1	33,3

Otoño	26/04/2012	Tarde	32,5	38,1
		Noche	26,2	26,7
		Mañana	29,8	30,0
		Tarde	32,0	36,2
		Noche	29,1	28,7

Fuente: elaboración propia.

En el Invierno los valores más altos o con mayor estrés térmico entre 28 a 35°C están en el período de la tarde concentrados en el Centro de la ciudad, zona Norte y Sur, en barrios comerciales, densamente poblado, con mucho asfalto y muy poca área verde. Las noches son más frescas con temperaturas entre 18,5°C a 28,5°C en prácticamente toda la ciudad.

En la Primavera los valores más altos de estrés térmico en el periodo de las tardes oscilando entre 30°C a 45°C en el Centro y zona Norte. Las temperaturas mínimas de sensación térmica están en el período de la noche entre 17°C a 28,5° en casi toda la ciudad.

El Verano en el período de la tarde los valores más altos de estrés térmico oscilan entre 29°C a 45°C el Centro, la zona Norte y Oeste de la ciudad. El umbral de las temperaturas mínimas de sensación térmica está en el período de la noche entre 20°C a 30°C en toda la ciudad.

El otoño las sensaciones térmicas en este período son más altas por las tardes entre 30°C a 41°C el Centro y zona Norte. El período nocturno el umbral de la sensación térmica oscila entre 24,2°C a 31,7°C en toda la ciudad.

Los valores extremos de las sensaciones térmicas con el UTCI para la ciudad de Natal son: las mínimas entre 14,7°C a 16,7°C cerca de la área verde de Ponta Negra en el extremo Sur de la ciudad y las máximas entre 42,8°C a 45,2°C localizadas en el Centro en los barrio de Ciudad Alta y Alecrim y en la zona Norte de la ciudad.

Los resultados a partir de los mapas de los transectos de los índices de sensaciones térmicas predominantes en Natal son: 52% de los casos predominan el estrés moderado por calor, 34% el fuerte estrés por calor, 9% clasificado como sin estrés térmico y 5% con fuerte estrés por calor. Así, en más de 60% de los casos Natal presenta el confort térmico moderado.

Los resultados de las series largas del período 1995 a 2010 el índice de confort térmico oscila entre los 29°C a 35°C (clasificado entre estrés moderado por calor y

fuerte estrés por calor), mientras que para las sensaciones de las temperaturas mínimas, oscila entre 18°C a 26°C, clasificado como sin estrés térmico.

El régimen bioclimático medio de Natal muestra que los meses de febrero, marzo, abril y mayo son los meses más cálidos, mientras que julio y agosto son los meses más frescos. Las tendencias bioclimáticas de Natal muestran que en la sensación de confort térmico del UTCI de las máximas prevalece el estrés por calor y para las mínimas el estrés moderado por el calor. En una visión amplia del confort térmico, la sensación de estrés moderado por el calor es la que más se encuadra, pero en los últimos años empieza a aparecer el nivel de estrés fuerte por calor en la ciudad de Natal.

CAPÍTULO 8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

8.1. CONCLUSIONES

En esta tesis se ha analizado el clima urbano de la ciudad de Natal a través de cuatro metodologías específicas: la comparación entre dos observatorios meteorológicos fijos un urbano y otro rural, los transectos de campo, las imágenes de orbital teledetección y el bioclima urbano además de la relación entre los cambios espacio-temporales del área urbana y de la vegetación. Este estudio se ha desarrollado en diferentes escenarios climáticos, diario, mensual, anual, entre estaciones del año y de series largas de 22 años.

Los resultados de este estudio demostraron que el ambiente térmico de la ciudad de Natal está influido por su morfología urbana. Así, la hipótesis principal está comprobada: el crecimiento urbano horizontal y vertical produce un efecto de modificación sobre la distribución espacial y temporal del campo térmico de la ciudad de Natal.

Los resultados de las series largas mostraron que la ciudad en el quinquenio 1995-2010 presenta la formación de dos tipos de islas de calor. Una isla de calor débil (ICU Débil) con una temperatura del aire $0,9^{\circ}\text{C}$ hacia más alto que el aeropuerto, muy marcada en los meses de otoño y verano. Y en 10% de los días tiene la presencia de una isla de calor moderada (ICU Moderada) con valores por encima por encima de 2°C . Ambos casos, contraponiendo el aeropuerto con la ciudad de Natal. Destaca la evidencia de la hipótesis secundaria según la cual los cambios térmicos con el paso del tiempo se producen de forma distinta en Natal y en sus alrededores.

Los cambios térmicos obtenidos con los resultados de los datos de las series largas fueron a través de la comparación entre dos observatorios meteorológicos fijos: la estación meteorológica instalada en la zona sur de la ciudad y la otra a 10 km de distancia, situada en el aeropuerto, un lugar que a pesar de la presencia de la ciudad de Parnamirin aún mantiene alrededor características rurales.

El crecimiento poblacional de la ciudad de Natal ha ocurrido de forma rápida en las últimas décadas, con un aporte poblacional de aproximadamente 247.000 habitantes en poco más de dos décadas (22 años), de 606.887 en 1991 a 853.929 habitantes en 2013 (población estimada).

La morfología de la ciudad hasta finales de la década de 1970 estaba formada básicamente de forma horizontal, principalmente a través de la construcción de grandes urbanizaciones de viviendas públicas, pero a partir de los años noventa se produce el fenómeno de la verticalidad muy concentrada en el Centro (zona Este) y en la zona Sur, aún insignificante en la zona Norte e inexistente en la zona Oeste.

En este estudio se confirma que la ciudad de Natal presenta un aumento del área urbana edificada y la reducción del área de vegetación natural, algo que se comprueba por el análisis de los mapas del área urbana y del NDVI de las imágenes del satélite Landsat de los años de 1984, 1990, 2000 y 2013.

Destacaron el sorprendente crecimiento horizontal de la zona Norte y el acelerado número de nuevos edificios en la zona Sur y en el centro de la ciudad. La zona Oeste se presenta como la frente de desarrollo más reciente, además la zona Sur, consolidando el proceso de conurbación con el municipio limítrofe de Parnamirim.

Se verifica una pérdida considerable de vegetación entre 1984 y 2013 en las cuatro zonas de la ciudad. Las áreas de vegetación preservadas se restringen a las zonas de protección ambiental (ZPA): al este el Parque de las Dunas, al Sur las áreas de Ponta Negra, Lagoinhas y el Parque de la Ciudad, al norte el área de vegetación de la Laguna Azul y la vegetación de manglares en las orillas del río Potengi. En la ciudad hay una carencia de parques públicos con árboles en los barrios.

En consecuencia, este fenómeno de la ampliación del área urbana atrofia el área verde natural y viene acarreado daños ambientales en la ciudad e influyendo en el clima local, como con la formación de las islas de calor urbanas.

Se llevaron a cabo los transectos de campo en los años de 2011, 2012 y 2013, además fue añadido el dato histórico de 1990. Se realizaron un total de siete campañas de muestreo con un total de 126 recorridos para extraer la configuración térmica de la ciudad. En cada recorrido se analizaron las temperaturas atmosféricas (TA) y la distribución espacial de las islas de calor urbanas atmosféricas (ICUA) y las islas de frescor urbanas atmosféricas (IFUA), y por otro lado se compararon con los datos históricos de 1990.

La configuración de las ICUA en el área urbana de la ciudad es policéntrica, el Centro de la ciudad fue el área que presentó las mayores ocurrencias de altas temperaturas en los tres turnos, en segundo lugar la zona Norte, después las zonas Sur y Oeste.

Las ICUA son más intensas en primavera, después en verano y otoño y por ultimo en invierno. Las ICUA ocurren en el Centro de la ciudad en los tres turnos del día, pero su presencia es mucho más intensa por las tardes y por las mañanas y menos por las noches, por influencia del efecto de la absorción del intenso calor solar diurno en los materiales de la estructura urbana.

Las principales ICUA están localizadas en los barrios de Ciudad Alta, Alecrim e Igapó. Estos tres barrios son subcentros y concentran una gama de actividades económicas y de servicios asociadas al intenso desplazamiento urbano para estos lugares diariamente. Las ICUA más intensas registradas fueron tres por las tardes en el otoño con 11,4°C (24/10/2012), 10,0°C (24/04/2012), 7,9°C (24/01/2013) y un caso por la mañana de 9,0°C (24/10/2012), todos los casos clasificados como Muy Fuertes (>6°C). Todo ello representa un dato muy preocupante para la ciudad, que necesita replantearse su modelo urbanístico.

Se comprueba la hipótesis secundaria según la cual el grado de intensidad del contraste térmico en la ciudad de Natal es reflejo del crecimiento y densidad de la red urbana. También se comprueba la hipótesis secundaria de que las variaciones espaciales y temporales de las islas de calor atmosféricas (ICUA) se manifiestan de formas y en períodos diferentes y en cualquier área de la ciudad de Natal.

Las islas de calor urbanas superficiales (ICUS) presentan una configuración térmica policoncéntrica de acuerdo con las temperaturas de superficie de las imágenes de satélite y de las temperaturas de los recorridos. Hay tres áreas con mayores temperaturas en el Centro, zona Sur y zona Norte y de igual forma también hay cuatro áreas que presentan temperaturas más amables, que son las áreas de vegetación densa y natural a Este, Sur y Norte de la ciudad.

Los resultados de las ICUS son muy determinantes para definir y dibujar un auténtico archipiélago de islas de calor en la ciudad. Donde se destacan por su extensión y intensidad en tres áreas distintas, la primera de mayor intensidad en el Centro-Sur, otra de menor intensidad en la zona Norte y en la zona Oeste. Los Puntos más Calientes fueron detectados en el centro de la ciudad y en la zona sur, presentando temperaturas medias entre 20°C y 30°C mayores que las mínimas de la ciudad (entorno). Así, se comprueba la hipótesis secundaria según la cual las modificaciones espaciales y temporales de las islas de calor de la superficie (ICUS) se expresan en aspectos y en fases distintas y en cualquier lugar de la ciudad de Natal.

Los resultados muestran que las islas de frescor están directamente relacionadas con las áreas de vegetación densa y abundante: el Parque de las Dunas (al Este), el Parque de la Ciudad y las áreas verdes de Ponta Negra, Lagoinhas y en las orillas del río Pitimbu (al Sur), el área de la vegetación de manglares en la orilla del río Potengi (al Oeste) y el área verde de la Laguna Azul en la Zona Norte (al Norte). Las temperaturas superficiales en estas áreas son de -5°C a -15°C por debajo de la temperaturas medias de la imagen.

Un elemento importante de los resultados es la comparación de la evolución histórica entre los resultados de 10 de mayo de 1990 con valores correspondientes de 28 de abril de 2012. Estos resultados revelan la evidencia de los cambios climáticos en la atmosfera de la ciudad de Natal en estos 22 años. Antes la ciudad presentaba un rango de temperaturas entre 26°C a 32°C y no había temperaturas muy cálidas ($>35^{\circ}\text{C}$). Por el contrario, en 2012 son predominantes las temperaturas más altas que representan un rango entre 31 a 38°C presentes en toda el área urbana además de puntos aún más cálidos entre 38 y 40°C .

La comparación entre las ICUA y las ICUS de la ciudad de Natal muestran una relativa conexión entre ambas. Los episodios de las islas de calor atmosféricas son más bajos en el invierno y más altos en el otoño. Los episodios de las islas de superficie son más bajos en la primavera y más altos en otoño. El aspecto morfológico es determinante para las islas de calor: el Centro-Sur y la zona Norte de la ciudad, ambos separados por el estuario del río Potengi, son los dos lugares de mayor intensidad e influencia en la formación de las islas de calor, hecho este al que contribuye la mayor densidad tanto horizontal como vertical de edificaciones.

Los resultados de los análisis del régimen bioclimático medio de la ciudad de Natal a partir de los transectos muestran que el período de invierno es el período que presenta las mejores condiciones de confortabilidad con valores entre moderado y sin estrés, al contrario en la primavera, verano y otoño, donde se presentan los resultados más preocupantes con fuerte estrés por calor. En todos los casos el período nocturno es el de mejor condición de confortabilidad con valores sin estrés térmico o sin molestias térmicas. Los resultados de los análisis del régimen bioclimático medio de Natal de las series largas del período 1995 a 2010 a partir del índice de confort térmico UTCI se han obtenidos los umbrales de confort térmico de los valores medios máximos y mínimos. La sensación térmica por el UTCI de las temperaturas máximas presenta una variación

anual entre los 29°C a 35°C (clasificado entre estrés moderado por calor y fuerte estrés por calor), mientras, que para las sensaciones de las temperaturas mínimas, la amplitud anual varía entre 18°C a 26°C, clasificado como sin estrés térmico.

La caracterización del régimen bioclimático medio de Natal muestra que los meses de febrero, marzo, abril y mayo son los meses más cálidos, mientras que julio y agosto son los meses más frescos. En las tendencias bioclimáticas de Natal se observa que la sensación de confort térmico del UTCI de las máximas prevalece el estrés por calor y para las mínimas el estrés moderado por el calor. Pero en una visión amplia del confort térmico, la sensación de estrés moderado por el calor es la que más encaja con la situación de Natal.

Así se comprueba la hipótesis secundaria en que los contrastes térmicos se expresan en variaciones del ritmo bioclimático de la ciudad en el cual sufre las consecuencias la población de Natal.

La presencia de una ICU en una ciudad de clima tropical como Natal es algo preocupante y requiere políticas urbanas sostenibles y con una clara visión ambiental, porque al final los riesgos son claros, provocando evidentes problemas ambientales, además de económicos y sociales.

El conjunto de las cuatro metodologías utilizadas para el análisis del clima urbano de la ciudad han mostrado mucha similitud entre los resultados principalmente, relacionando las áreas más densamente ocupadas donde se encuentra mayores temperaturas, el período de la tarde se presentó el más caliente, seguido por las mañanas y las noches, y el verano y la primavera son las estaciones más cálidas, seguidas por el otoño y invierno.

Los datos estadísticos del INMET utilizados fueron adecuados capacitando como una fuente confiable.

Los errores más frecuentes se produjeron por los horarios extendidos en algunos recorridos, en su mayoría por situaciones adversas a lo planeado, como lluvias, atascos de tráfico y problemas logística de transporte.

Los resultados son consistentes en las cuatro metodologías utilizadas, que de hecho se mostraron apropiadas y coherentes con los resultados finales alcanzados.

Si comprueba que para una mejor eficacia en los resultados de un estudio de clima urbano se hace necesario utilizar como mínimo los cuatro métodos aplicados en este estudio. Así, se también se confirma que para determinar en qué medida hay o no la

formación de islas de calor en una ciudad, es necesario el uso combinado de los métodos utilizados en esta tesis.

8.2. PROPUESTAS

Para hacer más agradables las temperaturas urbanas de Natal, es urgente: (i) Crear más áreas verdes y plantar árboles en las calles, las avenidas y los barrios que presentaron más problemas térmicos: Ciudad Alta, Alecrim, Quintas, Igapó y Lagoa Nova; (ii) urbanizar y plantar árboles en los alrededores de las lagunas urbanas, creando áreas de recreo para la población.

Es importante que se haga efectiva una legislación para que sea obligatorio, por ley, que ciudades con más de 100.000 habitantes tengan estudios de acompañamiento del clima urbano.

Es necesario adecuar y poner en marcha en el Plan Director Municipal un apartado especial sobre el clima urbano de Natal.

Es preciso instalar una red municipal de estaciones meteorológicas automáticas en las cuatro regiones administrativas, además de sensores en las áreas más críticas y poner a disposición la información del clima urbano en tiempo real para toda la población.

Hay que incentivar en Natal una campaña permanente de plantación de árboles, de tejados verdes, entre otras iniciativas, para minimizar los efectos de las condiciones climáticas adversas.

La planificación y el desarrollo sostenible de la ciudad no pueden dejar al margen el importante tema del clima urbano. La construcción de los equipamientos urbanos y de otro tipo de edificaciones de gran impacto debe llevar en consideración la variable del clima urbano. De ahí la necesidad de un control y seguimiento constante de problemas ambientales de la ciudad y que se centre en el clima como una variable vulnerable y muy influida por el desarrollo y crecimiento urbano de la ciudad. Sugerencias para próximos estudios: La polución del aire en la ciudad de Natal; La influencia de los vientos en el clima urbano de Natal; Estudio pormenorizado del área central de la ciudad donde se producen los mayores cambios térmicos; Estudio de orbital teledetección con imágenes de mejor resolución espacial.

El mayor paso de la humanidad para transformar el cambio climático es primero transformar el hombre. Malco Jeiel de Oliveira Alexandre

Madrid, España, Invierno de 2013

BIBLIOGRAFÍA

- Alcoforado, M. J. (1992). *O clima da região de Lisboa, contrastes e ritmos térmicos*. Lisboa: Universidade de Lisboa. Centro de Estudos Geográficos.
- Almendros Coca, M. A. (2004). Modelo para la elaboración de un mapa urbano de isotermas: el caso de Madrid. In: Almendros Coca, M. A. (2004). *Historia Clima y paisaje*. Valencia: Universidad de Valencia. p. 285-293.
- Andrade, T.A., Serra, RV. (1998). Relatório Final do Estudo. Caracterização e Tendências da Rede Urbana do Brasil. Brasília: Instituto de Pesquisa Económica e Aplicada, IBGE.
- Araújo Neves, J. et al (2010). Análise Pluviométrica do Rio Grande do Norte: Período: 1963-2009. Natal: EMPARN, p 71.
- Araújo, V. M. D. de. (1991). Influencia da morfologia urbana nas alterações da temperatura do ar na cidade de Natal. Brasília, UNB.
- Araújo, R. R., Rangel, M. E. S. (2012). Crescimento urbano e variações térmicas em São Luis MA. Revista Geonorte, Edicion Especial 2, v.2, n. 5, p. 308 a 318.
- Arroyo Ilera, F y Fernández García, F. (1991). Aproximación al conocimiento del confort térmico urbano de Madrid. Madrid, Servicio de Publicaciones de la UAM, pp 118.
- Arroyo Ilera, F y Fernández García, F. (1992). Consideraciones sobre la valoración educativa de la confortabilidad ambiental de la ciudad. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles. nº 14. Madrid, 1992. pp. 67-84.
- Assis, E. S. de. (2006). Aplicações da climatologia urbana no planeamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros. Revista de Urbanismo e Arquitetura, Vol. 7, N. 1.
- Ayoade, J. O. (2003). *Introdução à climatologia para os trópicos*. 9 ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil.
- Baeninger, R. (org.). (2010). População e Cidades: subsídios para o planeamento e para as políticas sociais. Campinas: Núcleo de Estudos de PopulaçãoNepo, Unicamp. Brasília: UNFPA.

- Balogun, I. A.; Balogun, A. A.; Adeyewa, Z. D. (2012). Observed urban heat island characteristics in Akure, Nigeria. *African Journal of Environmental Science and Technology* Vol. 6(1), pp. 1-8. <http://www.academicjournals.org/ajest>
- Barry, R. G.; Carleton, A. M. (2001). *Synoptic and dynamic Climatology*. London: Routledge.
- Barry, R. G., Chorley, R. J. (2003). *Atmosphere, weather and climate*. 8 ed. London: Routledge.
- Burroughs, W. J. (2001). *Climate change: a multidisciplinary approach*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Błażejczyk, K., Broede, P., Fiala, D., Havenith, G., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Kunert, A. (2010). Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in european scale. *Miscellanea Geográfica*: vol. 14, pp. 91-102.
- Błażejczyk, K. (2010). Bioklima versão 2.6. Disponível em: <<http://www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/BioKlima.htm>> Acesso em: março, 2013.
- Brandão, A. M. de P. M. (2003). O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro. In Mendonça, Francisco; Monteiro, Carlos Augusto de Figueiredo (orgs.). *Clima urbano*. São Paulo, Contexto.
- Bröde, P. et al. (2009). Calculating UTCI Equivalent temperatures. www.utci.org.
- Bröde, P., Krüger, E. L.; Rossi, F. A. (2011). Assessment of urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI. Greece. XIV International Conference on Environmental Ergonomics, p 388.
- Conceição Gomes, R. de C. da. (2003). Política habitacional e urbanização no Brasil. Barcelona, [http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-146\(083\).htm](http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-146(083).htm).
- COSERN. (2003) Potencial eólico do estado do Rio Grande do Norte. Natal: Companhia Energética do Rio Grande do Norte., pp 47.
- Instituto Nacional de Meteorologia (1992). *Normais climatológicas: 1961-1990*. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

- Camarano, A. A., Abramovay, R. (1999). *Êxodo rural, envelhecimento e masculinização no Brasil: panorama dos últimos 50 anos*. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Económica e Aplicada.
- Cañada Torrecilla, R., Vidal Domínguez, M.J. y Moreno Jiménez, A. (2010). Interpolación espacial y visualización cartográfica para el análisis de la justicia ambiental: ensayo metodológico sobre la contaminación por partículas atmosféricas en Madrid. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 691-715. ISBN: 978-84-472-1294-1
- Capel Saez, Horacio. La definición de lo urbano. In Homenaje al Profesor Manuel Teran. Barcelona: Universidad de Barcelona. *Scripta Vetera*. Nº 33. <http://www.ub.es/geocrit/sv-33.htm>.
- Cuadrat Prats, J. M., Pita, M. F. (2011). *Climatología*. 6 ed. Madrid: Cátedra.
- Cuadrat Prats, J. M., Vicente Serrano, S. M., Saz Sánchez, M. A. (2005). Los efectos de la urbanización en el clima de Zaragoza (España): la isla de calor y sus factores condicionantes. Asociación Geógrafos de España, Boletín de la AGE, pp 311-327.
- Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2013). Previsão de tempo para Cidades. <http://www.cptec.inpe.br/cidades/tempo/235>.
- Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2013). Boletín Técnico 2011, 2012 y 2013. http://tempo.cptec.inpe.br/bol_tecnico.shtm.
- Cestaro, L. A. (2002). Fragmentos de florestas Atlânticas no Estado do Rio Grande do Norte relações estruturais florísticas e fitogeográficas. São Carlos, UFSCar, Tese de Docorado.
- Chadler, T. J. (1976). Urban climatology and its relevance to urban design. Geneva: World Meteorological Organization, Nº 438.
- Christofolletti, A. (1979). *Análise de Sistemas em Geografia*. São Paulo: Hucitec.
- Chuvienco, E. (2002). Teledetección ambiental, la observación de la tierra desde el espacio. 1 ed. Barcelona: Editorial Ariel.

- Comarazamy, D. E.; Gonzalez, J. E.; Luvall, J. C. Fenómeno de la isla de calor urbano en una Ciudad Tropical Costera, Caso de Estudio en el Área Metropolitana de San Juan, Puerto Rico. In: Sanchez Rodriguez, R., Bonilla, A. (2007). Urbanización, Cambios Globales en el Ambiente y Desarrollo Sustentable en América Latina. São José dos Campos, Brasil: IAI, INE, UNEP, pp. 61-80.
- Córdova Sáez, K. (2011). Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbanas en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo en Caracas, octubre/2009, marzo/2010. Revista Terra. Vol. XXVII, N° 42, pp. 95-122.
- Corrêa, R. L. (1989). *O espaço urbano*. São Paulo: editora Ática.
- Costa, A. A. da. (2007). A verticalização de Natal: elemento de impactos socioambientais sobre o seu desenvolvimento urbano. In: NUNES et al. Dinâmica e Gestão do território potiguar. Natal: EDUFRN.
- Cuadrat, J. M.; Pita, M. F. (2011). Climatología. 6º Edición. Madrid: Cátedra.
- De Souza Júnior, Manoel Onofre. *Guia da Cidade Natal*. 5ª ed. Natal: Edições Sebo Vermelho, 2009.
- Emmanuel, Rohinton. (2011). Urban climate design in the equatorial megapolis Key challenges to effective adaptive action. <http://www.forumpatrimonio.com.br/print.php?articleID=199&modo=1>
- Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. (2013). Meteorología e climatología. Natal: EMPARN, <http://www.emparn.rn.gov.br>
- Fernández García, Felipe. (1996). Manual de Climatología Aplicada, clima, medio ambiente y planificación. Madrid: Editorial Síntesis.
- Fernández García, F., Montávez, J. P., González Rouco, J. F., Valero, F. (2004). Relación entre la estructura espacial de la isla térmica y la morfología urbana de Madrid. Asociación Española de Climatología. Serie A, N° 4, pp. 22-28. http://www.aeclim.org/images/stories/articulos_pdf/pag_641_650.pdf
- Fernández García, F. (2010). Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid. *Investigaciones Geográficas*, 49, 173-195.
- Fernández García, F., Rasilla Álvarez, D., Allende Álvarez, F. (2013). La isla de Calor en Madrid durante los periodos cálidos: evaluación de impactos y propuestas de

- actuación. In: Vinuesa, J. et al (orgs). (2013). Reflexiones a propósito de la revisión del plan general de Madrid. Madrid: Grupo Trys, pp. 229-254.
- Fialho, E. S. (2012). Ilha de calor: reflexões acerca de um conceito. ACTA Geográfica, Boa Vista, Ed. Esp. Climatologia Geográfica, pp. 61-76.
- Gallego, L. P. (1972). *Tipos de Tempo e Poluição Atmosférica no Rio de Janeiro: Um Ensaio em Climatologia Urbana*. São Paulo: USP, Tese de Doutorado.
- Gil Olcina, A., Olcina Cantos, J. (2006). *Climatología general*. 2º Ed. Barcelona: Ariel.
- Haesbaert, R. (2002). *Territórios Alternativos*. São Paulo: Contexto.
- Landsberg, Helmut E. The urban climate. International geophisies Series Voleme 28.
- Hantson. S; Chuvieco, E; et al. (2011). Cadena de pre-procesamiento estándar para las imágenes Landsat del Plan Nacional de teledetección. Asociación Española de Teledetección. Revista de Teledetección 36, pp. 51-61.
- Henderson Sellers, A., McGuffie, K. (1990). Introducción a los Modelos Climáticos. Barcelona: Omega.
- Helmut E. Landsberg. The urban climate. International geophisies Series Volume 28.
- Higueras García, E. (2006). Urbanismo bioclimático. Madrid, Editorial Gistavo Gili, p. 242.
- Holton, J. R., Curry, J. A., Pyle, J. A. (2003). Encyclopedia of atmospheric sciences. London: Academic Press Elsevier Science. p. 1305.
- International Society of Biometeorology ISB. Commission 6. COST Action 730 (2009). Universal Thermal Climate Index UTCI. Freiburg, Germany. <http://www.utci.org/index.php>
- Instituto de Controle do Espaço Aéreo. (2013). Climatologia. São José dos Campos SP: ICEA <http://www.icea.gov.br/climatologia/index.html>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estadística. (2010). Sinopsis del Censo Demográfico 2010. <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=4&uf=00>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estadística. (2013). *Informações sobre os municípios brasileiros*. Recuperado de <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estadística. (2013). Mapas de clima do Brasil. <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias>

- Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada. (1999). Relatório Final do Estudo Caracterização e Tendências da Rede Urbana do Brasil. Brasília. IPEA.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report Climate Change 2013: The physical science basis. Geneva, Switzerland: *World Meteorological Organization* (WMO).
- Jensen, J. R. (2007). Remote Sensing of the environment: an earth resource perspective. 2nd Edition. New Jersey, Pearson Prentice Hall.
- Jensen, J. R. (2009). Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução Jose Carlos Neves Epifanio (coord.) et al. São Jose dos Campos: Parênteses.
- Jendritzky G., Havenith G., Weihs P., Batchvarova E. (eds.). (2009). *Towards a Universal Thermal Climate Index UTCI for assessing the thermal environment of the human being* Final Report COST Action 730.
- Jongtanom, Y., Kositanont, C., Baulert, S. (2011). Temporal Variations of Urban Heat Island Intensity in Three Major Cities, Thailand. Canadian Center of Science and Education. Modern Applied Science Vol. 5, No. 5. www.ccsenet.org/mas.
- Ketterer, C. L., Matzarakis, A.L. (2012). Development and application of assessment methods for thermal bioclimate conditions in Stuttgart. Dublin, Ireland. ICUC8 8th International Conference on Urban Climates, UCD.
- Kruger, E., Bröde, P., Emmanuel, R., Fiala, D. (2012). Predicting outdoor thermal sensation from two field studies in Curitiba, Brazil and Glasgow, UK using the Universal Thermal Climate Index (UTCI). London: Network for Comfort and Energy Buildings. <http://nceub.org.uk>
- Krzysztof, B., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H., Tinz, B. (2011). Comparison of UTCI to selected thermal indices. *Int J Biometeorol.* No 56. pp. 515–535.
- Krzysztof, B., Bröde, P., Fiala, D., Havenith, G., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Kunert, A. (2010). Principles of the new universal thermal climate index (UTCI) and its application to bioclimatic research in european scale. *Miscellanea Geographica.* v. 14. pp. 91-102.

- López Gómez, A., López Gómez, J., Fernández García, F., Arroyo Llera, F. (1991). *El clima urbano de Madrid: La isla de calor*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- López Gómez, A., Fernández García, F., Arroyo Llera, F., (1995). *Teledetección y clima urbano: Variaciones nocturnas y diurnas de las islas de calor en Madrid*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- López Gómez, A., Fernández García, F. (1984). *La isla de calor en Madrid: avance de un estudio de clima urbano*. Revista de Estudios Geográficos, 174, 5-34.
- López Gómez, A., Fernández García, F., Moreno Jiménez, A. (1993). *El clima urbano. Teledetección de la isla de calor en Madrid*. Madrid: Ministerio de Obras públicas y Transportes, Serie Monografías.
- López Gómez, A., Fernández García, F., Arroyo Llera, F., Martin Vide, J., Cuadrat, J. M. (1993). *El clima de las ciudades españolas*. Madrid: Cátedra.
- Lombardo, M. A. (1985). *Ilha da calor nas metropoles. O exemplo de São Paulo*. São Paulo: Hucitec.
- Liu, W. T. H. (2007). *Aplicações de sensoriamento remoto*. Campo Grande MS: Universidade Anhanguera Uniderp.
- Luchiari, A. (2001). Identificação da cobertura vegetal em áreas urbanas por meio de produtos de sensoriamento remoto e de um sistema de informação geográfica. São Paulo: USP, Revista do Departamento de Geografia, n. 14, p. 47-58.
- Mafokozi, J. (2009). *Introducción a la estadística*. Madrid: Editorial CCS.
- Martínez Montoya, J. F., Herrero Isern, J., Casterad, M. A. (2010). Utilidad de la banda térmica de Landsat en la discriminación de terrenos yesosos. México, Sociedad de Especialistas Latinoamericanos en Percepción Remota SELPER.
- Medeiros Vidal, R. D. de. (1991). Influência da Morfologia urbana nas alterações da temperatura do ar na cidade do Natal. Brasília: Universidad de Brasília, pp 139.
- Mehrotra, S. et al. (2009). Framework for city climate risk assessment. Fifth Urban Research Symposium 2009. France: Urban Climate Change Research Network UCCRN.

- Mendonça, F., (1998). Geografia física: ciência humana. 6 ed. São Paulo: Contexto, Coleção Repensando a geografia.
- Mendonça, F., Danni Oliveira, I. M. (2007). *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de textos.
- Molion, L. C. B., Bernardo, S. de O. (2002). Uma revisão da dinamica das chuvas no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.17, n.1, pp 1-10.
- Mohan, M., Kikegawa, Y., Gurjar, B. R.; Bhati, S., Kandya, A., Ogawa, K. (2012). Urban Heat Island Assessment for a Tropical Urban Airshed in India. *Scientific Research. Atmospheric and Climate Sciences*, 2, pp 127-138. <http://www.scirp.org/journal/acs>.
- Monteiro, Ana (1997). O Clima Urbano do Porto: contribuicao para a definicao das estrategias de planeamento e ordenamento do territorio. Lisboa: Editorial: Gulbenkian
- Monteiro, C. A. de F., Mendonça, A. (orgs.). (2003). *Clima urbano*. São Paulo: Editora Contexto.
- Moreno Jiménez, A. (org). (2007). *Sistemas y análisis de la información geográfica: Manual de autoaprendizaje con ArcGis*. 2º ed. Madrid: Ra Má.
- Moreno García, M. C. (1999). Climatología urbana. Textos Docents 160. Barcelona: Edicions da Universitat de Barcelona.
- Moreira, E. B. M., Galvêncio, J. D. (2007). Espacialização das temperaturas à superfície na cidade do Recife Utilizando imagens tm Landsat 7.
- Motta, A. G. (nd). *O clima de Natal*. Natal: Editora Foco.
- Moura, M. De O., Zanella, M. E., Sales, M. C. L. (2008). Ilhas térmicas na cidade de Fortaleza CE.
- Nimer, E. (1979) Um modelo metodológico da classificação de climas. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, *Revista Brasileira de Geografia*, n. 4, v 41, p. 59-89.

- Ndetto, E. L.; Matzaraki, A. (2012). Urban Climate and Bioclimate of Dar es Salaam, Tanzania: Preliminary results. Dublin, Ireland. ICUC8 – 8th International Conference on Urban Climates, UCD.
- Nunes, E. (2009). *O meio ambiente da Grande Natal*. 2 ed. Natal: Imagem Gráfica.
- Oke, T.R. (1987). Boundary layer climates. 2th Edition. London. Routledge.
- Olivier, J. E. (2005). *Encyclopedia of world climatology*. Netherlands: Springer.
- Ongoma, V., Muthama, J. N., Gitau, W. (2013). Evaluation of urbanization influences on urban temperature of Nairobi City, Kenya. Italy: Global Meteorology, volume 2e1, pp. 1-5.
- Public Works and Government Services Canada. Humidit Index. Disponible en: <http://www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/comm/ai-in-eng.html> >Acceso en: julio, 2013.
- Prefeitura Municipal de Natal. (2013). *Anuario Natal 2013*. Natal: Secretaria de Meio Ambiente e Urbanismo.
- Rice, F. P. (1997). *Desarrollo humano: estudio del ciclo vital*. Traducción María Elena Ortiz Salinas. London: Editorial Pearson Prentice Hall. p. 20-21.
- Rio Grande do Norte. (2011). Anuário Estatístico do Rio Grande do Norte 2011. Natal: Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. <http://www.idema.rn.gov.br>
- Rossi, F. A. (2012). Proposição de metodologia e de modelo para avaliação da sensação térmica em espaços abertos. Curitiba, UTFPR, Tese Doutorado, pp. 188.
- Russell Thompson; Algen Perry. APPLIED CLIMATOLOGY, Principles and practice.
- Saraiva, A. L. B. Da C., Vale, C. C., Zanella, M. E. (2012). Temperaturas na zona urbana e na zona rural no município de Mossoró RN. revista Geonorte, Edição Especial 2, v.2, n.5, p.600 a 612.
- Sarricolea, P., Aliste, E., Castro, P., Escobedo, C. (2008). Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua, Chile y sus factores explicativos. Revista de Climatología, Vol. 8, pp 71-84.
- Stewart, I. D., Oke, T. R. (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. American Meteorological Society, 1889-1990.

- Santos, Milton. (1999). *A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo; Razão e Emoção*. 3^a ed. São Paulo: Hucitec.
- Scaramuzza, P. et al. (2004). SLC Gap-Filled Products Phase One Methodology. http://landsat.usgs.gov/documents/SLC_Gap_Fill_Methodology.pdf
- Seoáñez, M. C. (2002). Tratado de climatología aplicada a la ingeniería medioambiental. Ediciones Mundi Prensa, Madrid.
- Silva, A. F. da. (2001). Migração e crescimento urbano uma reflexão sobre a cidade de Natal Brasil. Barcelona. Disponible en: <http://www.ub.edu/geocrit/sn-94-74.htm>.
- Sobrino, J. A. et al. (2009). DESIREX 2008: Estudio de la isla de calor en la Ciudad de Madrid. Revista de Teledetección. v. 31, pp. 80-92.
- Soares Cunha, E. M. (2004). Evolución actual del litoral de Natal RN, Brasil y sus aplicaciones a la Gestión Integrada. Barcelona: Universitat de Barcelona, Tesis Doctoral.
- Sotchava, V. B. (1977). *O estudo de geossistemas*. São Paulo: Universidade de São Paulo. Instituto de Geografia. Métodos em Questão, 16, p. 51.
- Tricart, J. (1977). *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, p 91.
- Tubelis, A., Nascimento, F. J. L. (1986). *Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras*. São Paulo: Nobel.
- United States Geological Survey. (2013). <http://www.usgs.gov/pubprod/>
- U.S. Geological Survey (2013). Landsat, A Global Land Imaging Mission. <http://landsat.usgs.gov>.
- Van, T. T., Bao, H. D. X. (2008). A study on urban development through land surface temperature by using remote sensing: in case of Ho Chi Minh City, Vietnam. VNU Journal of Science, Earth Sciences 24, pp 160-167.
- Vianello, R. L., Alves, A. R. (1991). *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa MG: Universidade Federal de Viçosa.
- Voogt, J. A. (2008). Islas de Calor en Zonas Urbanas: Ciudades Más Calientes. <http://www.actionbioscience.org/esp/ambiente/voogt.html?print>.

- Xu Tang (2008). Cambios en el medio ambiente urbano: nuevos retos para los servicios meteorológicos. OMM: Boletín, vol. 57 (4), pp 244-248.
- Wypych, S., Bokwa, A. (2004). *El clima en las ciudades*. Cracovia: Jagiellonian University. Recuperado en <http://www.atmosphere.mpg.de/enid>.
- Yale University. The Center for Earth Observation CEO. (2010) Converting Digital Numbers to Top of Atmosphere (ToA) Reflectance. Disponible en: http://www.yale.edu/ceo/Documentation/Landsat_DN_to_Reflectance.pdf.
- Zárate Martín, A. (2003). El espacio interior de la ciudad. Madrid, Editorial Síntesis.
- Zavattini, J. A. (2004). Estudos do clima no Brasil. Campinas SP: Editora Alínea.

APÉNDICES

INDICE

APÉNDICE A - TEMPERATURAS DEL AIRE DE LOS PUNTOS DE MEDIDA EN LOS TRANSECTOS MÓVILES DE NATAL.....	293
Tabla A1 – Campañas de medidas de los días 06, 11 y 12 de julio de 2011.....	293
Tabla A2 - Campañas de medidas de los días 05, 06 y 07 de octubre de 2011.....	295
Tabla A3 - Campañas de medidas de los días 24, 26 y 27 de enero de 2012.....	297
Tabla A4 - Campañas de medidas de los días 24, 26 y 27 de abril de 2012.....	299
Tabla A5 - Campañas de medidas de los días 11, 12 y 13 de julio de 2012.....	301
Tabla A6 - Campañas de medidas de los días 24, 25 y 26 de octubre de 2012.....	303
Tabla A7 - Campañas de medidas de los días 23, 24 y 25 de enero de 2013.....	305
Tabla A8 - Temperatura de la Superficie de Natal, 2011, 2012 y 2013.....	307
Tabla A9 - Campañas de medidas de Natal, 1990.....	309
APÉNDICE B – INTENSIDAD DE LA ISLAS DE CALOR URBANAS ATMOSFÉRICAS (ICUA) EN LOS DIFERENTES PUNTOS DE LOS RECORRIDOS TÉRMICOS, A LO LARGO DEL AÑO.....	311
Tabla B1 - Isla de Calor Urbanas Atmosféricas de Natal (ICUA) de Invierno, 11 de julio de 2011 y 11 de julio de 2012.....	311
Tabla B2 - Isla de Calor Urbanas Atmosféricas de Natal (ICUA) de Primavera, 11 de octubre de 2011 y 24 de octubre de 2012.....	313
Tabla B3 - Isla de Calor Urbanas Atmosféricas de Natal (ICUA) de Verano, 26 de enero de 2012 y 24 de enero de 2013.....	315
Tabla B4 - Isla de Calor Urbanas Atmosféricas de Natal (ICUA) de Otoño, 26 de abril de 2012.....	317
Tabla B5 - Isla de Calor Urbanas Atmosféricas de Natal (ICUA) de Otoño, 30 de marzo de 1990.....	319
APÉNDICE C - PANORÁMICA DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	321
Figura C1 - Puntos representativos de los recorridos en la ciudad de Natal.....	321
Figura C2 - Puntos representativos de los recorridos en la ciudad de Natal.....	322
Figura C3 - Estación meteorológica de la ciudad de Natal.....	323
Figura C4 - El contraste entre el área edificada y el área verde natural en la ciudad de Natal.....	323

Figura C5 - El contraste entre la década de 1940 y el año de 2013 en la ciudad de Natal.....	324
APÉNDICE D - EQUIPO DE INVESTIGACION Y LOS INSTRUMENTOS.....	325
Figura D1 - Equipo que participaron de los transectos y los instrumentos.....	325
Figura D2 - El coche " <i>Fusca branco</i> " utilizado en los trabajos de campo, 2011.....	326
Figura D3 - Bandera de la ciudad de Natal, Brasil.....	326

APÉNDICE A - TEMPERATURAS DEL AIRE DE LOS PUNTOS DE MEDIDA EN LOS TRANSECTOS MÓVILES DE NATAL

Tabla A1 – Campañas de medidas de los días 06, 11 y 12 de julio de 2011

Punto	Ta2011jul06m	Ta2011jul06t	Ta2011jul06n	Ta2011jul11m	Ta2011jul11t	Ta2011jul11n	Ta2011jul12m	Ta2011jul12t	Ta2011jul12n
R1.1	27,0	30,5	25,5	26,5	29,0	26,0	24,5	29,0	24,0
R1.2	26,5	31,5	26,0	26,5	30,0	26,5	25,0	29,5	24,5
R1.3	27,5	33,0	28,0	27,5	30,5	27,0	25,5	30,0	25,0
R1.4	28,0	33,5	28,5	28,0	31,0	27,0	25,0	30,5	25,0
R1.5	28,0	34,0	28,5	27,5	31,0	28,0	25,0	31,0	25,0
R1.6	28,0	35,0	28,0	27,5	31,5	28,0	25,5	31,5	24,5
R1.7	28,0	33,5	28,0	27,5	31,5	28,0	26,0	31,5	25,0
R1.8	28,0	33,0	28,5	27,5	31,5	28,0	26,5	32,0	25,5
R1.9	28,5	31,5	27,5	27,0	30,5	28,0	26,5	32,0	25,3
R1.10	28,0	31,0	28,5	27,0	29,0	28,0	27,0	32,0	25,5
R1.11	28,5	31,5	28,5	27,5	29,5	27,5	27,5	33,0	25,5
R1.12	28,5	31,5	29,0	27,5	30,0	28,5	27,5	33,0	25,5
R1.13	28,5	31,5	29,0	27,5	30,0	28,5	27,5	32,5	25,0
R1.14	29,0	31,5	28,5	28,0	30,0	27,5	27,0	32,5	25,0
R1.15	29,5	32,0	29,0	29,0	30,0	28,0	26,5	32,0	25,5
R1.16	29,5	31,5	27,0	28,0	28,5	28,0	27,5	31,5	25,0
R1.17	29,5	32,0	26,0	29,0	29,0	28,0	26,0	31,5	25,0
R1.18	29,0	31,5	26,5	29,0	31,0	28,0	27,0	31,0	25,0
R1.19	29,0	31,5	24,5	28,5	30,5	28,0	27,5	31,0	25,0
R1.20	29,5	31,0	23,0	28,5	29,5	27,5	27,5	30,5	25,0
R1.21	30,5	31,0	23,5	28,5	29,0	27,5	26,0	30,5	25,0
R1.22	25,0	29,0	25,0	28,0	28,0	25,5	25,0	29,0	25,0
R2.1	26,5	28,5	25,5	27,0	28,5	25,5	25,0	29,0	24,0
R2.2	26,0	33,5	27,0	27,0	28,0	26,0	24,5	30,0	25,0
R2.3	27,6	34,0	27,5	27,5	29,0	27,0	24,5	31,0	25,0

R2.4	28,0	35,0	27,5	27,5	29,0	27,0	24,5	32,5	25,0
R2.5	29,0	35,0	27,5	28,5	28,0	26,5	25,5	32,5	25,5
R2.6	29,0	35,0	27,5	27,5	28,5	26,5	25,5	32,5	25,5
R2.7	28,5	37,5	27,0	29,0	29,5	26,5	25,5	32,5	25,5
R2.8	28,5	37,0	27,5	28,5	30,0	26,5	26,0	31,0	26,0
R2.9	28,5	37,0	27,0	28,0	30,0	26,0	26,0	31,5	26,0
R2.10	29,0	35,5	27,0	28,0	30,5	26,5	26,0	30,5	26,0
R2.11	28,5	36,0	26,5	28,0	31,0	26,0	25,5	32,0	25,5
R2.12	29,0	33,5	26,5	27,0	30,5	25,5	26,0	32,0	24,5
R2.13	29,5	32,5	26,5	27,0	31,5	25,5	26,5	31,5	25,0
R2.14	28,5	32,0	27,0	27,5	31,0	25,5	26,5	31,0	25,0
R2.15	28,5	33,0	27,0	27,5	30,5	26,5	28,5	31,5	25,5
R2.16	29,0	32,0	27,0	27,5	30,5	26,0	27,5	31,5	25,5
R2.17	29,5	32,0	27,0	27,5	29,5	26,5	28,0	32,0	25,0
R2.18	30,0	32,0	27,0	27,5	29,5	26,5	28,5	32,0	25,0
R2.19	29,5	32,0	27,0	27,5	29,0	26,0	30,5	32,0	25,5
R2.20	30,0	32,0	27,0	28,0	30,1	26,0	31,5	31,5	25,5
R2.21	30,0	31,0	27,0	28,0	31,2	26,5	30,0	34,1	25,5
R2.22	30,5	30,5	27,0	28,0	30,5	26,0	31,5	32,0	25,5
R2.23	30,5	31,0	27,0	27,5	29,0	26,0	29,5	29,0	24,5
R2.24	27,0	31,0	27,5	27,5	29,0	26,5	29,5	29,5	25,5
R2.25	27,5	31,5	28,0	28,0	31,0	26,5	30,5	31,0	25,5
R2.26	28,0	32,0	28,0	27,5	31,0	27,8	28,5	32,0	25,5
R2.27	27,0	32,0	27,5	27,0	31,5	26,5	30,0	32,5	25,5
R2.28	27,0	31,0	28,0	27,0	31,5	26,5	30,5	32,0	25,0
R2.29	27,0	31,0	26,5	27,0	30,5	26,5	30,0	32,5	25,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A2 - Campañas de medidas de los días 05, 06 y 07 de octubre de 2011

Punto	Ta2011oct05m	Ta2011oct05t	Ta2011oct05n	Ta2011oct06m	Ta2011oct06t	Ta2011oct06n	Ta2011oct07m	Ta2011oct07t	Ta2011oct07n
R1.1	26,5	29,5	25,0	26,5	29,0	25,5	26,6	28,0	24,5
R1.2	27,0	31,0	25,0	27,0	29,0	25,0	27,2	29,0	25,5
R1.3	26,5	33,5	26,5	26,5	29,0	24,0	26,5	29,0	26,5
R1.4	27,0	32,5	26,0	26,5	31,0	24,0	26,2	32,0	27,0
R1.5	30,0	31,0	23,0	27,3	29,0	24,0	26,0	31,5	27,0
R1.6	27,0	31,6	26,0	27,6	29,0	23,0	28,0	30,5	27,5
R1.7	28,5	31,4	26,0	27,0	30,0	24,0	26,0	30,5	27,5
R1.8	28,0	30,0	23,0	28,2	30,0	24,0	27,0	31,0	27,5
R1.9	28,0	30,5	23,0	29,5	31,0	23,0	29,0	30,5	27,0
R1.10	29,0	31,0	25,0	30,0	31,0	24,0	29,2	30,3	27,0
R1.11	29,0	31,0	23,0	29,0	31,0	24,0	29,5	30,5	27,0
R1.12	27,0	32,0	26,0	28,5	32,0	23,0	29,0	30,1	27,5
R1.13	29,2	32,5	23,0	28,4	30,0	23,0	30,2	30,0	27,0
R1.14	29,0	33,5	23,0	28,5	32,0	24,0	29,5	30,0	27,0
R1.15	29,5	35,0	22,0	27,5	32,0	23,0	29,0	29,8	27,0
R1.16	27,3	34,0	22,0	28,5	32,5	23,0	28,0	29,0	27,0
R1.17	29,2	32,0	22,0	28,9	31,0	23,5	28,0	31,1	27,0
R1.18	28,5	33,0	22,5	28,5	32,0	23,5	29,0	30,5	27,0
R1.19	29,0	34,5	22,0	28,5	32,0	23,0	29,2	30,0	27,5
R1.20	29,0	32,5	22,0	28,0	31,0	23,0	30,0	30,5	26,5
R1.21	30,4	30,0	22,0	29,0	32,2	23,0	29,0	30,0	26,5
R1.22	29,0	32,0	22,5	28,0	31,0	23,5	28,5	32,5	27,0
R2.1	27,5	28,0	26,0	26,6	30,0	25,5	26,5	28,0	24,5
R2.2	26,5	30,0	26,0	27,5	30,0	25,5	26,5	28,5	24,5
R2.3	28,0	30,0	26,0	27,0	30,5	25,0	26,5	30,0	24,5
R2.4	28,0	31,0	25,5	27,0	32,5	25,5	27,0	31,0	25,5

R2.5	28,0	31,0	25,5	27,0	33,0	25,5	26,5	32,5	25,5
R2.6	29,0	30,0	25,5	27,5	32,0	26,0	28,0	31,0	25,0
R2.7	29,0	30,0	25,5	27,5	32,0	26,5	28,0	32,5	25,0
R2.8	29,5	30,5	25,5	28,5	31,0	25,5	28,0	32,0	24,5
R2.9	29,5	30,5	25,5	28,5	30,5	25,5	28,0	31,5	25,0
R2.10	29,0	30,5	25,5	29,5	31,0	25,5	29,0	32,5	25,0
R2.11	29,5	30,0	25,5	28,0	32,0	25,5	28,0	32,5	25,0
R2.12	30,5	31,0	26,0	28,0	32,0	25,5	28,5	30,0	24,5
R2.13	30,5	31,0	26,0	28,0	32,0	25,5	29,0	30,5	26,0
R2.14	30,5	31,0	26,0	29,0	31,5	25,5	30,0	30,5	26,0
R2.15	28,5	30,5	26,0	29,5	31,0	25,5	29,0	29,5	26,0
R2.16	29,0	29,5	26,0	29,5	31,2	25,5	29,5	30,5	25,0
R2.17	29,0	30,0	26,0	29,0	31,5	25,5	30,5	33,5	26,0
R2.18	29,0	30,0	26,0	28,5	31,0	25,5	30,5	32,0	26,0
R2.19	29,0	29,5	26,0	29,0	31,5	25,5	29,5	31,0	26,0
R2.20	28,5	30,5	26,0	30,0	31,5	25,5	29,0	32,0	26,0
R2.21	29,5	31,0	26,0	31,0	31,5	25,5	29,5	30,0	26,0
R2.22	30,5	30,0	26,5	30,5	32,0	25,5	29,5	32,5	26,0
R2.23	29,0	29,5	26,0	29,0	29,5	25,5	28,0	29,0	26,0
R2.24	30,0	32,0	26,5	30,5	31,0	25,0	28,5	29,5	26,0
R2.25	28,5	30,0	26,0	31,0	32,0	26,0	29,0	31,0	25,5
R2.26	28,5	30,5	26,0	29,0	32,5	26,0	29,5	30,0	26,0
R2.27	28,5	29,5	26,0	29,0	30,0	26,0	29,0	31,0	26,5
R2.28	29,0	29,0	26,0	30,0	30,2	26,0	28,5	31,0	26,0
R2.29	28,5	30,0	26,0	29,5	32,5	25,5	29,0	30,5	26,0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A3 - Campañas de medidas de los días 24, 26 y 27 de enero de 2012

Punto	Ta2012ene24m	Ta2012ene24t	Ta2012ene24n	Ta2012ene26m	Ta2012ene26t	Ta2012ene26n	Ta2012ene27m	Ta2012ene27t	Ta2012ene27n
R1.1	27,5	29,5	26,0	28,0	31,0	29,0	28,5	28,5	24,5
R1.2	28,0	32,1	27,0	27,0	30,5	28,3	29,0	29,5	24,5
R1.3	28,0	33,1	28,0	26,5	30,0	30,0	29,5	33,0	25,5
R1.4	28,5	31,2	28,5	26,5	32,0	30,0	29,0	33,0	25,0
R1.5	30,0	31,2	29,0	27,0	30,5	29,2	30,5	31,0	26,0
R1.6	28,5	31,5	29,0	27,0	31,5	29,0	30,5	31,0	25,0
R1.7	29,0	31,5	28,5	27,0	30,5	28,8	29,0	31,0	26,0
R1.8	29,5	30,5	29,0	29,5	31,0	28,8	31,5	31,0	26,5
R1.9	29,0	30,0	29,0	27,5	30,5	29,0	30,5	31,0	27,0
R1.10	30,5	31,5	29,0	30,0	31,0	29,0	30,0	31,0	26,5
R1.11	30,0	31,0	30,0	29,5	31,0	28,2	30,2	32,5	26,5
R1.12	29,0	31,0	29,5	28,5	32,0	27,5	30,5	31,0	27,0
R1.13	29,0	31,0	28,0	27,5	31,0	27,5	29,5	31,0	26,5
R1.14	27,5	31,0	28,0	28,0	32,0	27,5	30,1	32,5	26,5
R1.15	29,0	30,5	28,5	27,5	31,5	28,0	28,9	30,0	26,0
R1.16	30,0	32,1	28,5	30,0	32,5	28,0	28,5	31,5	27,0
R1.17	29,5	29,5	28,5	29,5	30,5	28,0	30,0	32,0	27,0
R1.18	28,2	29,0	28,5	28,0	30,0	27,5	28,9	35,0	27,0
R1.19	27,2	29,5	28,5	29,5	31,5	26,0	30,0	33,5	26,5
R1.20	28,5	30,0	28,5	28,0	30,0	25,5	30,5	32,5	26,5
R1.21	28,5	31,0	29,0	29,0	30,5	25,6	30,0	32,0	26,0
R1.22	28,5	34,0	29,5	28,0	33,5	29,2	30,5	32,2	26,5
R2.1	28,0	31,0	25,5	28,5	32,0	28,0	26,0	29,0	26,0
R2.2	27,0	30,0	25,5	27,5	32,0	26,0	25,0	29,0	26,0
R2.3	27,5	32,0	24,5	27,0	32,5	26,0	25,5	30,2	26,0
R2.4	28,0	32,0	24,0	27,0	32,6	28,5	26,0	30,5	26,0

R2.5	28,0	32,5	24,0	27,0	32,5	26,0	26,0	30,1	26,0
R2.6	28,0	30,0	25,5	27,5	29,0	26,5	26,0	29,0	26,0
R2.7	28,5	31,0	24,5	27,5	29,0	26,5	26,5	30,1	27,0
R2.8	30,5	30,5	24,5	27,5	32,0	26,5	26,5	29,5	27,0
R2.9	28,5	29,5	23,8	27,0	29,5	27,0	26,5	29,0	26,5
R2.10	29,5	34,0	25,0	27,0	29,0	27,0	26,0	29,5	26,5
R2.11	29,0	32,5	21,5	27,0	30,0	27,5	26,0	30,0	26,5
R2.12	30,0	31,5	22,5	28,0	30,0	27,5	26,0	29,5	27,0
R2.13	30,5	32,5	25,5	29,0	34,0	27,5	26,5	30,0	26,5
R2.14	30,0	31,5	23,5	29,0	31,5	27,0	27,5	28,5	26,0
R2.15	30,5	37,0	26,5	29,0	30,0	27,0	26,5	29,8	26,5
R2.16	29,0	33,0	25,5	28,0	30,5	27,5	26,0	29,8	26,5
R2.17	30,5	32,5	24,0	28,0	30,0	27,0	26,0	30,0	26,5
R2.18	29,5	29,0	25,5	27,0	30,0	27,5	26,5	28,9	26,5
R2.19	30,5	31,0	25,5	27,0	32,0	27,5	26,0	31,5	26,0
R2.20	30,5	32,0	26,0	27,0	33,0	27,0	26,0	30,0	26,0
R2.21	31,5	30,0	26,6	28,0	32,0	27,0	26,5	30,1	26,0
R2.22	30,5	30,5	26,5	28,0	33,0	28,0	27,0	30,5	27,0
R2.23	30,5	29,0	25,5	28,5	32,0	28,0	27,0	30,0	27,0
R2.24	30,5	30,0	26,5	27,0	32,0	27,0	26,0	32,0	26,0
R2.25	30,0	32,0	23,6	27,0	32,5	27,0	26,5	28,0	26,0
R2.26	31,0	30,5	26,0	27,5	32,0	28,0	29,0	28,5	27,5
R2.27	30,5	29,5	27,0	28,0	34,0	28,5	28,0	28,5	26,0
R2.28	30,5	30,0	24,5	28,0	34,0	28,0	29,0	28,1	26,0
R2.29	30,5	29,0	27,0	27,0	33,5	28,0	29,0	30,1	26,0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A4 - Campañas de medidas de los días 24, 26 y 27 de abril de 2012

Punto	Ta2012abr24m	Ta2012abr24t	Ta2012abr24n	Ta2012abr26m	Ta2012abr26t	Ta2012abr26n	Ta2012abr27m	Ta2012abr27t	Ta2012abr27n
R1.1	29,5	31,0	30,0	29,0	30,0	29,0	30,0	32,5	26,0
R1.2	28,5	31,5	29,5	28,5	29,0	28,0	28,5	30,5	28,5
R1.3	28,0	32,5	28,5	28,0	29,0	28,5	27,5	34,8	28,0
R1.4	28,0	31,5	29,0	28,0	30,5	29,0	28,0	34,0	28,5
R1.5	29,5	30,0	29,5	28,0	32,0	28,0	28,5	35,5	28,0
R1.6	30,0	31,0	29,0	28,5	31,0	28,5	28,0	32,0	28,5
R1.7	30,5	30,0	28,5	28,0	30,5	28,0	28,5	34,0	28,0
R1.8	30,0	29,5	28,0	28,5	29,5	29,0	28,0	32,5	28,5
R1.9	29,5	30,0	28,0	28,0	31,0	29,0	28,5	32,0	28,0
R1.10	29,0	30,0	28,5	28,0	30,5	28,5	28,5	31,0	28,5
R1.11	28,5	31,0	28,5	28,5	30,0	28,0	28,0	31,0	28,0
R1.12	28,5	30,0	29,0	28,0	29,0	28,0	27,5	30,5	29,0
R1.13	28,0	31,5	29,5	28,5	32,5	28,0	27,0	30,0	28,5
R1.14	29,5	29,5	28,0	28,0	30,5	28,5	28,5	31,0	29,0
R1.15	29,0	30,0	28,5	28,5	29,0	28,0	28,0	33,5	28,5
R1.16	29,5	30,5	29,0	28,0	30,5	28,5	28,5	33,0	28,0
R1.17	29,5	29,0	28,0	29,0	32,5	28,0	28,0	32,5	28,5
R1.18	30,0	30,0	28,5	28,0	31,0	29,0	27,0	31,0	28,0
R1.19	29,0	29,5	28,0	28,5	30,5	28,5	27,0	30,5	29,0
R1.20	28,5	28,5	28,5	28,0	29,0	28,0	27,5	31,0	28,5
R1.21	29,5	29,0	28,0	28,5	30,0	29,0	28,0	30,5	28,0
R1.22	29,0	29,5	28,0	29,0	32,0	28,5	27,5	29,0	28,5
R2.1	28,0	31,0	30,5	29,0	30,0	29,0	28,5	29,0	26,0
R2.2	28,5	31,5	30,0	31,0	33,0	29,0	30,0	34,0	28,0
R2.3	29,0	32,5	30,0	31,0	39,0	29,0	32,0	37,0	25,5
R2.4	29,0	34,5	30,6	32,5	33,0	29,5	32,0	35,5	25,5

R2.5	30,0	36,0	30,0	32,0	33,0	29,0	32,0	37,5	26,0
R2.6	30,0	37,0	29,5	32,0	33,5	29,0	32,0	35,0	26,0
R2.7	31,0	38,0	29,5	32,0	34,5	30,0	33,0	35,0	26,0
R2.8	31,0	31,0	30,0	31,0	34,0	30,0	33,5	36,5	26,6
R2.9	32,0	33,5	30,0	32,0	36,0	30,5	31,5	34,0	26,5
R2.10	32,0	39,5	29,6	34,0	36,0	29,5	33,0	33,5	26,0
R2.11	32,0	36,5	30,0	32,0	35,5	29,0	33,0	35,0	26,5
R2.12	32,0	40,0	26,5	31,5	34,0	29,5	33,0	35,0	26,0
R2.13	32,0	33,0	29,0	32,0	34,0	29,0	32,0	35,0	26,0
R2.14	32,0	33,0	29,0	33,0	34,5	30,0	31,0	34,5	26,5
R2.15	32,5	34,0	29,0	32,0	34,0	29,5	31,3	32,5	27,0
R2.16	31,0	36,5	29,5	31,0	32,0	29,5	30,0	34,0	27,0
R2.17	32,5	36,0	29,0	31,5	32,0	30,0	30,5	35,5	26,5
R2.18	33,0	36,0	29,0	31,0	32,5	29,5	30,0	35,0	26,0
R2.19	33,5	37,0	29,5	30,0	32,0	30,0	32,0	35,0	27,0
R2.20	32,5	32,0	29,0	30,0	31,5	29,0	32,0	34,0	27,0
R2.21	32,5	33,5	29,5	30,5	33,0	29,5	32,0	33,5	26,5
R2.22	32,0	33,0	29,0	30,0	32,0	30,0	32,0	33,0	26,0
R2.23	31,0	33,0	29,5	29,0	30,0	29,0	32,5	34,0	28,0
R2.24	32,0	32,0	29,0	29,0	30,5	30,0	32,0	34,0	28,0
R2.25	32,5	35,0	29,0	29,0	30,0	30,0	32,0	34,0	28,0
R2.26	32,0	32,0	29,5	30,0	33,5	30,0	32,0	32,0	27,5
R2.27	32,5	33,5	30,0	30,5	34,0	30,5	32,5	32,5	28,0
R2.28	31,5	33,0	30,0	30,0	33,0	30,0	32,0	33,0	28,5
R2.29	31,5	34,0	30,0	30,0	34,0	30,0	32,0	33,0	28,0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A5 - Campañas de medidas de los días 11, 12 y 13 de julio de 2012

Punto	Ta2012jul11m	Ta2012jul11t	Ta2012jul11n	Ta2012jul12m	Ta2012jul12t	Ta2012jul12n	Ta2012jul13m	Ta2012jul13t	Ta2012jul13n
R1.1	26,5	27,5	24,5	26,0	28,5	26,0	24,5	26,0	25,9
R1.2	26,0	26,5	24,0	26,0	27,5	24,5	25,5	26,5	25,5
R1.3	25,7	27,0	23,0	26,5	27,5	23,5	25,0	26,5	25,0
R1.4	27,0	27,5	23,5	26,0	30,2	23,0	23,0	29,5	28,5
R1.5	27,0	28,0	22,5	27,5	29,5	23,0	23,0	29,5	27,8
R1.6	26,5	30,0	22,0	28,0	30,0	24,0	22,5	25,5	28,5
R1.7	27,5	30,5	22,0	27,5	30,0	24,5	23,0	26,8	26,0
R1.8	26,0	29,5	22,5	28,0	30,0	24,0	22,0	28,5	26,5
R1.9	25,0	26,0	21,0	28,5	31,5	23,0	21,5	28,8	26,0
R1.10	25,0	27,5	22,5	28,0	31,0	23,0	22,5	27,5	26,5
R1.11	24,0	29,0	21,5	27,5	30,5	24,0	22,5	27,5	26,5
R1.12	24,5	29,0	23,0	25,7	30,5	24,0	22,0	26,5	26,5
R1.13	26,5	28,5	23,5	26,5	28,0	24,5	22,0	27,8	26,0
R1.14	24,5	28,5	23,0	27,0	28,5	24,0	23,5	28,5	27,5
R1.15	27,5	28,0	23,0	25,0	28,3	23,5	22,5	28,5	27,0
R1.16	22,5	27,5	23,5	25,0	27,5	23,0	22,5	29,8	28,5
R1.17	23,0	28,0	23,0	27,0	28,5	23,5	25,0	29,5	25,5
R1.18	24,5	29,0	23,0	27,5	28,5	23,0	25,5	28,5	26,5
R1.19	25,5	27,0	23,5	27,0	28,0	23,0	23,5	29,5	29,0
R1.20	26,5	30,0	23,0	27,0	30,0	23,5	23,5	29,5	28,0
R1.21	27,0	27,5	23,0	26,5	27,0	23,0	23,0	29,0	27,5
R1.22	24,5	30,0	23,0	26,0	31,0	23,5	23,5	29,0	28,0
R2.1	25,5	26,5	24,0	26,5	28,0	26,5	23,5	26,5	26,0
R2.2	25,5	29,0	24,5	27,0	31,0	26,0	23,5	31,5	24,5
R2.3	25,0	30,0	23,0	27,0	32,0	26,0	24,0	32,0	24,0
R2.4	25,5	30,0	24,0	26,5	32,0	26,0	25,0	30,5	24,5

R2.5	25,0	31,0	23,5	26,0	32,5	26,5	25,5	31,0	24,0
R2.6	26,0	30,0	23,0	27,5	32,0	26,0	24,5	31,0	24,0
R2.7	26,0	29,0	23,0	27,5	31,0	25,5	24,0	30,0	25,0
R2.8	26,0	30,0	23,0	28,5	31,0	25,0	25,0	31,0	25,0
R2.9	26,0	31,5	23,5	28,0	32,0	25,0	23,0	31,5	24,0
R2.10	26,5	30,0	23,0	27,5	31,0	25,5	23,5	31,0	24,5
R2.11	26,0	30,5	23,0	26,0	32,0	25,0	24,0	28,5	25,0
R2.12	26,5	30,0	23,0	26,0	32,0	25,0	23,5	28,0	25,0
R2.13	27,0	29,0	23,0	28,0	32,5	25,0	23,0	29,0	25,5
R2.14	27,0	29,0	23,0	28,0	31,0	25,5	24,0	28,5	25,0
R2.15	27,5	29,5	25,5	28,0	30,5	25,5	23,5	29,0	25,0
R2.16	27,0	28,5	25,0	27,5	31,0	25,0	23,0	29,5	25,5
R2.17	26,5	28,0	23,5	27,5	32,0	25,0	24,0	28,0	25,0
R2.18	27,5	28,5	23,5	28,0	31,0	25,0	23,5	29,0	25,5
R2.19	27,0	28,0	23,0	28,0	31,5	25,5	23,0	29,0	25,0
R2.20	28,0	29,0	23,5	28,5	31,0	25,0	23,5	29,5	25,0
R2.21	27,5	28,5	23,0	28,0	31,0	25,0	23,0	29,5	25,0
R2.22	28,0	29,0	23,5	28,0	30,0	26,0	23,5	28,0	25,5
R2.23	27,5	29,5	23,0	27,5	31,0	26,0	23,0	28,0	25,5
R2.24	27,0	28,0	24,0	27,0	31,0	27,0	24,0	29,0	26,0
R2.25	27,0	30,0	24,0	28,0	32,5	27,0	23,5	29,5	26,0
R2.26	27,5	29,5	24,0	27,5	31,0	27,5	24,0	29,0	26,0
R2.27	27,0	28,5	24,0	27,5	31,0	25,5	24,5	29,0	26,5
R2.28	27,0	29,5	24,0	28,0	30,0	25,0	24,0	29,0	26,0
R2.29	28,0	31,0	23,0	28,0	32,0	25,5	24,5	29,0	26,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A6 - Campañas de medidas de los días 24, 25 y 26 de octubre de 2012

Punto	Ta2012oct24m	Ta2012oct24t	Ta2012oct24n	Ta2012oct25m	Ta2012oct25t	Ta2012oct25n	Ta2012oct26m	Ta2012oct26t	Ta2012oct26n
R1.1	27,5	28,5	26,0	27,5	28,5		28,0	29,0	26,0
R1.2	27,5	28,0	26,0	27,0	29,0		27,5	29,0	27,0
R1.3	25,0	27,5	26,5	26,5	28,5		29,0	30,0	25,0
R1.4	24,5	28,0	26,0	27,5	28,0		29,5	30,5	25,5
R1.5	25,0	29,5	26,5	28,0	30,0		28,5	30,0	26,0
R1.6	23,0	30,1	26,0	28,5	30,1		28,5	31,0	26,0
R1.7	24,5	29,5	26,5	28,0	29,0		28,5	30,5	27,0
R1.8	24,0	28,0	26,0	28,5	29,5		29,0	29,5	27,5
R1.9	23,5	31,5	27,0	28,5	29,0		30,0	31,5	26,5
R1.10	25,5	29,0	27,0	31,5	31,0		30,0	32,0	26,0
R1.11	25,0	30,2	26,0	30,5	31,5		30,0	34,0	26,5
R1.12	24,0	30,5	27,0	29,5	31,5		30,5	33,0	26,0
R1.13	24,0	28,5	26,5	28,5	32,5		30,5	32,0	26,5
R1.14	23,0	31,5	26,0	28,0	29,5		29,0	31,5	26,0
R1.15	23,5	29,5	26,5	27,5	29,0		28,5	30,0	25,5
R1.16	23,0	28,5	26,0	29,0	30,0		29,5	30,5	25,0
R1.17	23,0	32,5	26,5	28,5	29,5		30,0	31,5	25,5
R1.18	23,5	29,5	27,0	28,5	29,5		29,0	32,0	25,0
R1.19	23,5	29,0	26,5	29,0	29,5		29,5	30,5	25,0
R1.20	24,5	28,5	26,0	29,0	28,5		30,0	31,5	26,5
R1.21	24,5	29,5	26,5	28,5	29,5		29,0	30,0	26,0
R1.22	24,0	29,0	26,0	29,5	28,5		29,0	32,0	27,5
R2.1	28,0	28,5	26,5	34,0	28,0	29,1	27,0		27,5
R2.2	29,0	29,0	26,0	33,7	28,0	27,4	26,5		28,0
R2.3	30,0	31,0	26,5	32,9	28,5	27,2	28,0		27,5
R2.4	30,0	31,0	26,5	33,4	29,0	27,1	28,0		27,0

R2.5	30,0	31,5	26,0	33,0	29,5	27,2	29,0		27,0
R2.6	30,5	32,0	27,0	34,2	30,0	27,2	29,0		26,5
R2.7	31,0	32,0	27,0	34,6	32,5	27,2	30,0		26,0
R2.8	31,5	31,5	26,0	34,1	36,0	27,5	30,5		26,0
R2.9	31,0	33,5	27,0	34,2	33,0	24,4	29,5		26,5
R2.10	31,0	32,5	26,5	34,2	31,0	27,5	29,5		25,5
R2.11	31,0	32,0	27,0	34,0	32,0	27,1	29,5		23,0
R2.12	31,0	31,5	27,5	33,0	33,5	27,2	30,0		25,5
R2.13	31,5	31,5	27,0	34,7	38,5	26,4	34,0		25,0
R2.14	30,5	36,0	27,5	34,6	38,0	25,3	32,5		23,0
R2.15	30,0	38,0	26,5	33,6	35,5	25,8	31,5		26,0
R2.16	31,0	38,5	25,5	33,7	36,5	25,5	33,0		24,0
R2.17	30,5	36,5	26,5	33,6	33,0	25,6	32,5		24,5
R2.18	30,0	34,0	26,0	33,1	40,0	25,9	33,5		25,0
R2.19	31,0	33,0	26,5	33,1	40,5	26,2	34,0		25,0
R2.20	31,5	36,5	25,5	32,9	40,5	26,2	36,5		25,0
R2.21	31,0	37,5	26,0	32,6	42,0	26,0	34,0		25,5
R2.22	30,0	35,5	26,5	33,0	38,5	26,3	34,0		24,5
R2.23	31,5	33,0	27,0	34,1	34,5	25,9	34,0		25,0
R2.24	32,0	39,0	26,0	32,6	34,0	26,2	31,5		25,5
R2.25	31,5	37,0	27,0	32,6	35,5	26,1	33,5		26,0
R2.26	30,0	33,5	26,5	35,4	34,5	26,2	31,5		25,5
R2.27	32,0	32,0	26,5	33,9	32,5	25,9	32,5		26,5
R2.28	31,0	34,0	26,0	33,8	30,5	25,0	31,5		26,0
R2.29	30,5	34,5	26,5	32,7	31,5	25,4	30,5		25,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A7 - Campañas de medidas de los días 23, 24 y 25 de enero de 2013

Punto	Ta2013ene23m	Ta2013ene23t	Ta2013ene23n	Ta2013ene24m	Ta2013ene24t	Ta2013ene24n	Ta2013ene25m	Ta2013ene25t	Ta2013ene25n
R1.1	29,9	34,5	30,3	27,0	34,5	28,0	31,5	32,5	30,0
R1.2	29,0	35,0	30,0	27,5	35,0	28,0	31,5	32,3	29,0
R1.3	28,7	34,4	30,4	28,0	34,4	27,5	30,2	32,4	29,5
R1.4	28,6	36,1	29,9	26,0	32,5	27,0	29,5	35,0	30,0
R1.5	29,9	34,8	30,0	28,0	34,8	27,0	29,0	36,1	30,0
R1.6	29,6	36,6	30,1	27,5	36,6	26,5	30,2	36,6	29,5
R1.7	29,7	35,9	30,7	26,5	35,9	27,0	31,2	36,1	29,0
R1.8	29,7	36,0	30,7	26,0	36,0	27,0	30,5	35,1	29,0
R1.9	30,1	36,9	30,2	27,0	36,9	27,0	29,2	35,6	29,0
R1.10	30,8	35,9	30,0	27,0	35,9	27,5	31,0	34,8	29,0
R1.11	30,9	37,8	30,3	28,0	31,0	26,5	30,5	35,4	30,0
R1.12	31,7	37,2	30,4	28,5	32,0	27,5	30,4	35,0	30,0
R1.13	31,3	37,9	30,2	28,0	32,5	28,5	31,0	36,0	30,0
R1.14	30,1	36,9	29,9	27,5	31,5	26,5	29,4	36,3	30,0
R1.15	30,6	35,5	30,7	28,0	31,5	27,5	29,2	36,8	30,0
R1.16	29,0	36,6	30,9	28,5	32,5	28,5	30,1	34,9	30,0
R1.17	29,4	35,0	30,9	27,5	31,5	28,5	30,5	34,6	31,0
R1.18	29,7	34,6	31,3	26,5	31,0	26,5	30,0	34,5	30,0
R1.19	29,6	34,2	31,2	27,5	32,0	26,5	29,5	36,1	30,0
R1.20	29,0	33,6	30,7	27,0	35,7	25,5	29,5	35,2	30,0
R1.21	29,1	32,9	30,2	27,5	35,7	26,5	28,0	33,5	29,5
R1.22	29,7	32,3	30,4	27,0	34,7	26,5	31,5	33,3	30,0
R2.1	29,9	31,0	30,0	26,0	33,1	27,5	25,0	34,5	29,0
R2.2	28,0	32,5	27,0	26,0	33,4	26,0	23,0	31,0	24,0
R2.3	27,5	32,0	26,5	26,5	34,0	24,5	23,5	31,0	24,5
R2.4	27,0	32,5	26,0	26,0	30,0	24,0	24,0	31,5	24,0

R2.5	27,0	33,0	26,0	26,0	36,0	23,5	24,5	32,0	24,0
R2.6	28,5	32,5	25,5	26,5	30,5	24,0	25,0	30,5	23,5
R2.7	28,0	31,5	25,0	27,0	30,5	23,5	25,0	30,0	23,0
R2.8	30,5	32,0	25,5	28,5	30,0	23,0	27,0	30,0	24,0
R2.9	29,0	32,5	25,0	28,5	29,6	24,0	27,5	30,5	24,0
R2.10	29,0	31,0	26,0	28,5	29,0	23,5	27,0	30,0	24,0
R2.11	28,5	30,5	25,5	28,0	30,0	24,0	24,0	30,5	24,5
R2.12	29,0	31,5	26,5	28,5	30,0	24,0	25,5	30,0	24,0
R2.13	30,5	32,5	26,0	28,0	29,0	24,0	26,0	31,0	25,0
R2.14	30,5	31,5	26,5	29,0	30,5	25,0	27,0	32,5	25,0
R2.15	31,0	32,5	27,0	30,0	32,0	25,5	27,5	32,0	25,5
R2.16	31,0	31,0	27,0	30,0	32,0	25,0	28,0	30,0	24,0
R2.17	31,0	32,0	27,0	30,0	31,0	25,5	28,5	31,5	25,5
R2.18	32,5	33,5	27,0	30,5	34,0	26,0	31,5	31,0	26,0
R2.19	32,0	34,5	27,5	30,4	32,0	26,5	30,5	31,5	26,0
R2.20	30,0	32,5	26,5	31,0	34,0	26,0	34,0	30,0	26,5
R2.21	30,5	31,5	26,0	31,7	34,0	26,5	34,5	32,5	26,0
R2.22	31,0	32,5	27,0	30,0	31,5	26,0	34,0	32,0	26,5
R2.23	32,0	32,0	27,0	29,0	32,4	27,0	34,5	34,0	27,0
R2.24	31,0	33,0	27,5	30,0	34,4	27,0	33,5	32,0	27,0
R2.25	31,2	32,5	27,0	30,0	31,0	27,0	32,0	33,5	27,0
R2.26	31,5	33,0	27,0	28,5	30,5	27,0	32,0	33,5	27,0
R2.27	33,5	34,0	27,5	29,0	30,0	27,5	34,0	34,5	27,0
R2.28	33,5	34,0	27,0	30,0	30,5	27,0	30,0	32,0	27,5
R2.29	31,7	33,0	27,5	29,0	30,5	27,5	32,0	34,5	27,0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A8 - Temperatura de la Superficie de Natal, 2011, 2012 y 2013

Punto	TS2011jul23	TS2011nov04	TS2012ene07	TS2012abr28	TS2012jul17	TS2012oct21	TS2013ene25
R1.1	26,5		31,8	33,0	29,9	29,2	35,3
R1.2	21,3		28,8	28,4	26,0	26,3	28,6
R1.3	23,4	22,4	28,7	32,7	29,2	32,9	20,2
R1.4	26,4	21,0	35,3	36,1	33,1	33,8	34,5
R1.5	26,5		34,6	34,5	30,8	24,4	35,2
R1.6	22,1		35,4	35,1	31,7	33,2	33,9
R1.7	31,1	18,9	35,7	40,1	35,6	35,3	35,5
R1.8	28,3	16,0	37,6	34,9	35,3	34,8	36,4
R1.9	27,1	19,7	33,2	33,8	31,9	30,4	33,0
R1.10	25,3	17,9	34,5	34,2	30,3	30,6	32,1
R1.11	25,7	22,5	33,7	34,2	31,1	30,0	26,8
R1.12	26,4	22,0	34,0	33,7	31,5	30,3	29,8
R1.13	27,5		38,2	34,7	32,2	34,6	29,1
R1.14	27,1		39,0	37,9	30,0	34,2	38,1
R1.15	18,7		37,1	34,1	27,7	17,3	37,7
R1.16	23,5		41,2	31,6	32,1	19,5	34,3
R1.17	26,7	17,0	33,8	34,8	29,7	31,4	34,9
R1.18	27,2	15,0	34,5	35,0	30,8	31,2	23,8
R1.19	26,7		30,6	33,5	29,1	30,6	20,7
R1.20	26,4	17,5	34,6	35,1	31,3	29,7	28,4
R1.21	25,6	19,4	37,9	36,1	28,1	33,1	23,6
R1.22	30,2	23,9	36,3	39,4	32,2	34,3	30,5
R2.1	26,5		32,3	32,2	29,8	29,3	35,3
R2.2	28,1	21,5	28,7	36,3	32,9	33,7	34,2
R2.3	31,2	23,7	35,3	38,6	33,9	32,5	21,0
R2.4	27,8	23,5	30,0	35,9	32,6	32,1	26,6

R2.5	25,9	19,8	34,6	36,6	31,6	28,1	19,4
R2.6	22,9		33,9	42,1			26,6
R2.7	22,0		35,0	36,0	30,6	34,8	22,7
R2.8	21,8		33,0	34,4	29,6	33,9	22,1
R2.9	25,1		36,2	37,2	31,2	34,6	29,2
R2.10	20,8		31,6	33,5	21,6	33,5	19,5
R2.11	23,3		35,8	33,0	26,8	33,6	24,1
R2.12	24,4		33,7	28,6	29,1	32,1	21,9
R2.13	23,9		34,0	33,3	30,2	33,4	32,3
R2.14	21,3		33,2	34,8	29,1	32,6	23,9
R2.15	24,3		34,8	32,3	28,2	32,4	30,4
R2.16	19,7		34,0	32,4	31,1	32,3	31,9
R2.17	19,8		35,6	33,6	29,3	32,1	32,8
R2.18	19,6		28,8	33,8	30,7	30,6	17,8
R2.19	26,3	16,8	33,2	34,5	30,2	31,6	19,7
R2.20	23,3		30,0	31,8	25,9	32,1	35,7
R2.21	23,6		29,9	32,3	26,7	32,4	37,2
R2.22	23,8		30,8	36,4	31,4	35,2	28,5
R2.23		19,0	26,9				27,3
R2.24	21,5	26,5	33,7		32,6	41,0	28,7
R2.25	28,6	20,7	33,8	36,8	33,8	35,6	34,2
R2.26	27,3	25,1	29,3	35,9	33,8	32,2	24,4
R2.27	27,2	21,3	31,6	34,1	31,6	33,0	31,4
R2.28	26,4	23,2	32,5	33,8	30,6	31,6	30,6
R2.29	24,3	21,5	29,1	35,6	32,6	31,5	34,4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A9 - Campañas de medidas de Natal, 1990

Puntos	Lat S	Long W	TA30mar1990(9h)	TA30mar1990(15h)	TA30mar1990(21h)	TA31mar1990(6h)	TA31mar1990(12h)	TA31mar1990(21h)	TA01abr1990(9h)	TA01abr1990(15h)	TS10may1990(12h)
P1	-5,775	-35,200	28,3	29,0	25,6	25,3	31,5	28,1	30,3	31,0	35,0
P2	-5,776	-35,204	27,5	28,0	25,0	26,0	29,5	27,0	29,5	29,1	33,3
P3	-5,784	-35,211	29,5	32,0	29,2	25,1	30,5	28,5	31,3	31,6	26,9
P4	-5,785	-35,209	28,3	30,0	28,1	25,1	29,0	28,0	29,3	29,7	32,1
P5	-5,786	-35,208	29,6	30,0	28,0	25,2	30,0	28,0	28,9	30,3	31,7
P6	-5,787	-35,207	29,5	30,5	28,0	25,0	30,5	28,0	29,5	30,3	32,6
P7	-5,784	-35,198	30,0	31,0	28,0	25,4	32,5	28,5	30,9	31,0	34,1
P8	-5,782	-35,196	28,2	28,5	27,6	25,0	30,0	28,1	28,7	29,7	30,9
P9	-5,782	-35,195	30,5	28,5	27,5	26,6	30,0	27,5	29,8	31,6	33,1
P10	-5,793	-35,190	28,6	30,0	Nd	26,0	32,0	28,1	29,8	30,8	32,1
P11	-5,796	-35,182	29,0	29,0	Nd	26,9	30,5	27,5	30,9	30,1	26,6
P12	-5,792	-35,208	32,0	24,0	24,2	24,1	29,7	27,9	29,2	29,6	30,2
P13	-5,797	-35,200	29,0	30,0	29,0	25,2	31,0	28,0	29,0	27,1	30,1
P14	-5,798	-35,198	28,7	30,5	29,1	28,7	30,5	29,1	28,9	29,2	30,5
P15	-5,793	-35,219	28,7	30,0	25,5	24,6	29,5	25,1	30,0	25,4	32,4
P16	-5,794	-35,217	30,0	29,5	27,1	25,5	30,5	26,5	30,4	30,6	30,1
P17	-5,795	-35,218	30,5	30,0	27,1	25,9	29,5	26,0	29,7	31,7	33,7
P18	-5,811	-35,210	29,7	31,0	29,6	27,3	31,0	28,5	32,3	30,0	33,1
P19	-5,813	-35,192	29,5	30,0	26,5	27,5	30,0	25,5	29,5	28,6	24,3
P20	-5,815	-35,200	29,5	30,8	28,0	25,2	31,9	28,0	28,3	28,8	30,5
P21	-5,823	-35,202	28,6	30,7	27,7	25,2	31,3	28,3	29,1	30,0	32,9
P22	-5,796	-35,227	28,6	28,9	30,0	24,4	29,7	26,8	27,2	28,7	29,0
P23	-5,797	-35,242	28,7	30,5	26,7	23,3	30,8	25,7	27,5	28,5	26,9
P24	-5,820	-35,236	30,3	30,9	28,7	26,6	34,3	27,3	27,9	31,8	31,1

P25	-5,817	-35,232	29,8	28,9	28,3	27,0	29,2	27,7	28,3	31,6	27,4
P26	-5,816	-35,229	29,7	29,6	28,2	26,4	32,5	28,3	28,4	31,2	21,8
P27	-5,840	-35,221	29,2	30,0	27,1	25,7	31,5	27,2	29,0	32,0	31,3
P28	-5,839	-35,215	30,0	29,3	27,6	25,0	32,5	27,4	29,4	30,6	30,7
P29	-5,838	-35,207	28,8	29,6	27,4	23,6	29,8	27,4	29,6	29,2	27,8
P30	-5,877	-35,176	31,6	31,3	28,6	23,5	31,0	28,9	30,9	32,0	25,6
P31	-5,882	-35,171	29,0	31,0	24,5	23,5	33,4	28,4	29,6	32,0	20,3

Fuente: Araujo, 1991.

APÉNDICE B – INTENSIDAD DE LA ISLAS DE CALOR URBANAS ATMOSFÉRICAS (ICUA) EN LOS DIFERENTES PUNTOS DE LOS RECORRIDOS TÉRMICOS, A LO LARGO DEL AÑO

Tabla B1 - Isla de Calor Urbanas Atmosféricas de Natal (ICUA) de Invierno, 11 de julio de 2011 y 11 de julio de 2012

Punto	isla2011jul11m	isla2011jul11t	isla2011jul11n	isla2012jul11m	isla2012jul11t	isla2012jul11n
R1.1	0,0	1,0	0,5	4,0	1,5	3,5
R1.2	0,0	2,0	1,0	3,5	0,5	3,0
R1.3	1,0	2,5	1,5	3,2	1,0	2,0
R1.4	1,5	3,0	1,5	4,5	1,5	2,5
R1.5	1,0	3,0	2,5	4,5	2,0	1,5
R1.6	1,0	3,5	2,5	4,0	4,0	1,0
R1.7	1,0	3,5	2,5	5,0	4,5	1,0
R1.8	1,0	3,5	2,5	3,5	3,5	1,5
R1.9	0,5	2,5	2,5	2,5	0,0	0,0
R1.10	0,5	1,0	2,5	2,5	1,5	1,5
R1.11	1,0	1,5	2,0	1,5	3,0	0,5
R1.12	1,0	2,0	3,0	2,0	3,0	2,0
R1.13	1,0	2,0	3,0	4,0	2,5	2,5
R1.14	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,0
R1.15	2,5	2,0	2,5	5,0	2,0	2,0
R1.16	1,5	0,5	2,5	0,0	1,5	2,5
R1.17	2,5	1,0	2,5	0,5	2,0	2,0
R1.18	2,5	3,0	2,5	2,0	3,0	2,0
R1.19	2,0	2,5	2,5	3,0	1,0	2,5
R1.20	2,0	1,5	2,0	4,0	4,0	2,0
R1.21	2,0	1,0	2,0	4,5	1,5	2,0
R1.22	1,5	0,0	0,0	2,0	4,0	2,0
R2.1	0,5	0,5	0,0	3,0	0,5	3,0
R2.2	0,5	0,0	0,5	3,0	3,0	3,5

R2.3	1,0	1,0	1,5	2,5	4,0	2,0
R2.4	1,0	1,0	1,5	3,0	4,0	3,0
R2.5	2,0	0,0	1,0	2,5	5,0	2,5
R2.6	1,0	0,5	1,0	3,5	4,0	2,0
R2.7	2,5	1,5	1,0	3,5	3,0	2,0
R2.8	2,0	2,0	1,0	3,5	4,0	2,0
R2.9	1,5	2,0	0,5	3,5	5,5	2,5
R2.10	1,5	2,5	1,0	4,0	4,0	2,0
R2.11	1,5	3,0	0,5	3,5	4,5	2,0
R2.12	0,5	2,5	0,0	4,0	4,0	2,0
R2.13	0,5	3,5	0,0	4,5	3,0	2,0
R2.14	1,0	3,0	0,0	4,5	3,0	2,0
R2.15	1,0	2,5	1,0	5,0	3,5	4,5
R2.16	1,0	2,5	0,5	4,5	2,5	4,0
R2.17	1,0	1,5	1,0	4,0	2,0	2,5
R2.18	1,0	1,5	1,0	5,0	2,5	2,5
R2.19	1,0	1,0	0,5	4,5	2,0	2,0
R2.20	1,5	2,1	0,5	5,5	3,0	2,5
R2.21	1,5	3,2	1,0	5,0	2,5	2,0
R2.22	1,5	2,5	0,5	5,5	3,0	2,5
R2.23	1,0	1,0	0,5	5,0	3,5	2,0
R2.24	1,0	1,0	1,0	4,5	2,0	3,0
R2.25	1,5	3,0	1,0	4,5	4,0	3,0
R2.26	1,0	3,0	2,3	5,0	3,5	3,0
R2.27	0,5	3,5	1,0	4,5	2,5	3,0
R2.28	0,5	3,5	1,0	4,5	3,5	3,0
R2.29	0,5	2,5	1,0	5,5	5,0	2,0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B2 - Isla de Calor Urbanas Atmosféricas de Natal (ICUA) de Primavera, 11 de octubre de 2011 y 24 de octubre de 2012

Punto	isla2011oct11m	isla2011oct11t	isla2011oct11n	isla2012oct24m	isla2012oct24t	isla2012oct24n
R1.1	0,0	0,0	2,5	4,5	1,0	0,5
R1.2	0,5	0,0	2,0	4,5	0,5	0,5
R1.3	0,0	0,0	1,0	2,0	0,0	1,0
R1.4	0,0	2,0	1,0	1,5	0,5	0,5
R1.5	0,8	0,0	1,0	2,0	2,0	1,0
R1.6	1,1	0,0	0,0	0,0	2,6	0,5
R1.7	0,5	1,0	1,0	1,5	2,0	1,0
R1.8	1,7	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5
R1.9	3,0	2,0	0,0	0,5	4,0	1,5
R1.10	3,5	2,0	1,0	2,5	1,5	1,5
R1.11	2,5	2,0	1,0	2,0	2,7	0,5
R1.12	2,0	3,0	0,0	1,0	3,0	1,5
R1.13	1,9	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0
R1.14	2,0	3,0	1,0	0,0	4,0	0,5
R1.15	1,0	3,0	0,0	0,5	2,0	1,0
R1.16	2,0	3,5	0,0	0,0	1,0	0,5
R1.17	2,4	2,0	0,5	0,0	5,0	1,0
R1.18	2,0	3,0	0,5	0,5	2,0	1,5
R1.19	2,0	3,0	0,0	0,5	1,5	1,0
R1.20	1,5	2,0	0,0	1,5	1,0	0,5
R1.21	2,5	3,2	0,0	1,5	2,0	1,0
R1.22	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	0,5
R2.1	0,1	1,0	2,5	5,0	1,0	1,0
R2.2	1,0	1,0	2,5	6,0	1,5	0,5
R2.3	0,5	1,5	2,0	7,0	3,5	1,0
R2.4	0,5	3,5	2,5	7,0	3,5	1,0

R2.5	0,5	4,0	2,5	7,0	4,0	0,5
R2.6	1,0	3,0	3,0	7,5	4,5	1,5
R2.7	1,0	3,0	3,5	8,0	4,5	1,5
R2.8	2,0	2,0	2,5	8,5	4,0	0,5
R2.9	2,0	1,5	2,5	8,0	6,0	1,5
R2.10	3,0	2,0	2,5	8,0	5,0	1,0
R2.11	1,5	3,0	2,5	8,0	4,5	1,5
R2.12	1,5	3,0	2,5	8,0	4,0	2,0
R2.13	1,5	3,0	2,5	8,5	4,0	1,5
R2.14	2,5	2,5	2,5	7,5	8,5	2,0
R2.15	3,0	2,0	2,5	7,0	10,5	1,0
R2.16	3,0	2,2	2,5	8,0	11,0	0,0
R2.17	2,5	2,5	2,5	7,5	9,0	1,0
R2.18	2,0	2,0	2,5	7,0	6,5	0,5
R2.19	2,5	2,5	2,5	8,0	5,5	1,0
R2.20	3,5	2,5	2,5	8,5	9,0	0,0
R2.21	4,5	2,5	2,5	8,0	10,0	0,5
R2.22	4,0	3,0	2,5	7,0	8,0	1,0
R2.23	2,5	0,5	2,5	8,5	5,5	1,5
R2.24	4,0	2,0	2,0	9,0	11,5	0,5
R2.25	4,5	3,0	3,0	8,5	9,5	1,5
R2.26	2,5	3,5	3,0	7,0	6,0	1,0
R2.27	2,5	1,0	3,0	9,0	4,5	1,0
R2.28	3,5	1,2	3,0	8,0	6,5	0,5
R2.29	3,0	3,5	2,5	7,5	7,0	1,0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B3 - Isla de Calor Urbanas Atmosféricas de Natal (ICUA) de Verano, 26 de enero de 2012 y 24 de enero de 2013

Punto	isla2012ene26m	isla2012ene26t	isla2012ene26n	isla2013ene24m	isla2013ene24t	isla2013ene24n
R1.1	1,5	2,0	3,5	1,0	5,5	5,0
R1.2	0,5	1,5	2,8	1,5	6,0	5,0
R1.3	0,0	1,0	4,5	2,0	5,4	4,5
R1.4	0,0	3,0	4,5	0,0	3,5	4,0
R1.5	0,5	1,5	3,7	2,0	5,8	4,0
R1.6	0,5	2,5	3,5	1,5	7,6	3,5
R1.7	0,5	1,5	3,3	0,5	6,9	4,0
R1.8	3,0	2,0	3,3	0,0	7,0	4,0
R1.9	1,0	1,5	3,5	1,0	7,9	4,0
R1.10	3,5	2,0	3,5	1,0	6,9	4,5
R1.11	3,0	2,0	2,7	2,0	2,0	3,5
R1.12	2,0	3,0	2,0	2,5	3,0	4,5
R1.13	1,0	2,0	2,0	2,0	3,5	5,5
R1.14	1,5	3,0	2,0	1,5	2,5	3,5
R1.15	1,0	2,5	2,5	2,0	2,5	4,5
R1.16	3,5	3,5	2,5	2,5	3,5	5,5
R1.17	3,0	1,5	2,5	1,5	2,5	5,5
R1.18	1,5	1,0	2,0	0,5	2,0	3,5
R1.19	3,0	2,5	0,5	1,5	3,0	3,5
R1.20	1,5	1,0	0,0	1,0	6,7	2,5
R1.21	2,5	1,5	0,1	1,5	6,7	3,5
R1.22	1,5	4,5	3,7	1,0	5,7	3,5
R2.1	2,0	3,0	2,5	0,0	4,1	4,5
R2.2	1,0	3,0	0,5	0,0	4,4	3,0
R2.3	0,5	3,5	0,5	0,5	5,0	1,5
R2.4	0,5	3,6	3,0	0,0	1,0	1,0

R2.5	0,5	3,5	0,5	0,0	7,0	0,5
R2.6	1,0	0,0	1,0	0,5	1,5	1,0
R2.7	1,0	0,0	1,0	1,0	1,5	0,5
R2.8	1,0	3,0	1,0	2,5	1,0	0,0
R2.9	0,5	0,5	1,5	2,5	0,6	1,0
R2.10	0,5	0,0	1,5	2,5	0,0	0,5
R2.11	0,5	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0
R2.12	1,5	1,0	2,0	2,5	1,0	1,0
R2.13	2,5	5,0	2,0	2,0	0,0	1,0
R2.14	2,5	2,5	1,5	3,0	1,5	2,0
R2.15	2,5	1,0	1,5	4,0	3,0	2,5
R2.16	1,5	1,5	2,0	4,0	3,0	2,0
R2.17	1,5	1,0	1,5	4,0	2,0	2,5
R2.18	0,5	1,0	2,0	4,5	5,0	3,0
R2.19	0,5	3,0	2,0	4,4	3,0	3,5
R2.20	0,5	4,0	1,5	5,0	5,0	3,0
R2.21	1,5	3,0	1,5	5,7	5,0	3,5
R2.22	1,5	4,0	2,5	4,0	2,5	3,0
R2.23	2,0	3,0	2,5	3,0	3,4	4,0
R2.24	0,5	3,0	1,5	4,0	5,4	4,0
R2.25	0,5	3,5	1,5	4,0	2,0	4,0
R2.26	1,0	3,0	2,5	2,5	1,5	4,0
R2.27	1,5	5,0	3,0	3,0	1,0	4,5
R2.28	1,5	5,0	2,5	4,0	1,5	4,0
R2.29	0,5	4,5	2,5	3,0	1,5	4,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B4 - Isla de Calor Urbanas Atmosféricas de Natal (ICUA) de Otoño, 26 de abril de 2012

Punto	isla2012abr26m	isla2012abr26t	isla2012abr26n
R1.1	1,0	1,0	1,0
R1.2	0,5	0,0	0,0
R1.3	0,0	0,0	0,5
R1.4	0,0	1,5	1,0
R1.5	0,0	3,0	0,0
R1.6	0,5	2,0	0,5
R1.7	0,0	1,5	0,0
R1.8	0,5	0,5	1,0
R1.9	0,0	2,0	1,0
R1.10	0,0	1,5	0,5
R1.11	0,5	1,0	0,0
R1.12	0,0	0,0	0,0
R1.13	0,5	3,5	0,0
R1.14	0,0	1,5	0,5
R1.15	0,5	0,0	0,0
R1.16	0,0	1,5	0,5
R1.17	1,0	3,5	0,0
R1.18	0,0	2,0	1,0
R1.19	0,5	1,5	0,5
R1.20	0,0	0,0	0,0
R1.21	0,5	1,0	1,0
R1.22	1,0	3,0	0,5
R2.1	1,0	1,0	1,0
R2.2	3,0	4,0	1,0
R2.3	3,0	10,0	1,0
R2.4	4,5	4,0	1,5

R2.5	4,0	4,0	1,0
R2.6	4,0	4,5	1,0
R2.7	4,0	5,5	2,0
R2.8	3,0	5,0	2,0
R2.9	4,0	7,0	2,5
R2.10	6,0	7,0	1,5
R2.11	4,0	6,5	1,0
R2.12	3,5	5,0	1,5
R2.13	4,0	5,0	1,0
R2.14	5,0	5,5	2,0
R2.15	4,0	5,0	1,5
R2.16	3,0	3,0	1,5
R2.17	3,5	3,0	2,0
R2.18	3,0	3,5	1,5
R2.19	2,0	3,0	2,0
R2.20	2,0	2,5	1,0
R2.21	2,5	4,0	1,5
R2.22	2,0	3,0	2,0
R2.23	1,0	1,0	1,0
R2.24	1,0	1,5	2,0
R2.25	1,0	1,0	2,0
R2.26	2,0	4,5	2,0
R2.27	2,5	5,0	2,5
R2.28	2,0	4,0	2,0
R2.29	2,0	5,0	2,0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B5 - Isla de Calor Urbanas Atmosféricas de Natal (ICUA) de Otoño, 30 de marzo de 1990

Puntos	isla1990mar30m	isla1990mar30t	isla1990mar30n
P1	0,8	1,0	1,4
P2	0,0	0,0	0,8
P3	2,0	4,0	5,0
P4	0,8	2,0	3,9
P5	2,1	2,0	3,8
P6	2,0	2,5	3,8
P7	2,5	3,0	3,8
P8	0,7	0,5	3,4
P9	1,0	2,5	3,3
P10	1,1	2,0	3,4
P11	1,5	1,0	2,3
P12	0,5	4,0	0,0
P13	1,5	2,0	4,8
P14	1,2	2,5	4,9
P15	1,2	2,0	1,3
P16	2,0	2,0	2,9
P17	2,5	2,5	2,9
P18	2,2	3,0	5,4
P19	2,0	2,0	2,3
P20	2,0	2,8	3,8
P21	1,1	2,7	3,5
P22	1,1	2,0	4,7
P23	1,2	2,5	2,5
P24	2,8	2,9	4,5
P25	1,4	1,8	4,1
P26	2,2	1,6	4,0

P27	1,7	2,0	2,9
P28	1,8	2,0	3,4
P29	1,3	1,6	3,2
P30	2,8	3,6	4,4
P31	1,5	3,0	0,3

Fuente: Elaboración propia.


APÉNDICE C - PANORÁMICA DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Figura C1 - Puntos representativos del recorridos en la ciudad de Natal

	
<p>Punto R1.1 y R 2.1 - Avenida Salgado Filho, situado en frente del IFRN, barrio Tirol.</p>	<p>Punto R1.7 - Carretera BR-101 en frente al Centro Comercial Natal Shopping Center, barrio Candelaria.</p>
	
<p>Punto R1.10 - Próximo al Centro de Convenciones de Natal, al sur del Parque de las Dunas.</p>	<p>Punto R1.11 -. Av. Roberto Freire delante de la Feria de Artesanato, barrio Ponta Negra.</p>
	
<p>Punto R2.6 - Puente de Igapó parte Central, sobre el río Potengi.</p>	<p>Punto R2.24 - Avenida Pres Café Filho, en la Playa del Medio, barrio Praia do Meio.</p>

Fuente: Elaboración propia y Fotografías cortesía de Dario Macedo, 2013.

Figura C2 - Puntos representativos del recorridos en la ciudad de Natal

	
<p>Punto R2.26 Confluencia de la av. Rio Branco y Joao Pessoa, Grande Punto, barrio Ciudad Alta.</p>	<p>Punto R2.28 Confluencia de la av. Joaquim Manoel y Dionizio Filgueira, barrio Petropolis.</p>
	
<p>Punto R2.27 Confluencia de la av. Prudente de Moraes y c. Potengi, plaza Cívica, barrio Tirol.</p>	<p>Punto R2.3 Confluencia de la av. Amaro Barreto en la Plaza Gentil Ferreira, barrio Alecrim.</p>
	
<p>Punto R2.8 Confluencia de la av. Joao Medeiros Filho y av. Paulistana, Barrio Potengi.</p>	<p>Punto R2.10 Rotonda de la av. Tomas Landim y c. Rego Muleiro, Gancho, barrio Igapo.</p>

Fuente: Elaboración propia y Fotografías cortesía de Dario Macedo, 2013.

Figura C3 - Estación meteorológica de la ciudad de Natal



Estación meteorológica de Natal, localizado en el campus Central de la UFRN. Fuente: Elaboración propia, 2011.

Figura C4 - El contraste entre el área edificada y el área verde natural en la ciudad de Natal



Natal, Brasil, Barrio de Capim Macio a la derecha, en el centro la avenida Roberto Freire y a la izquierda el Parque de las Dunas. Fuente: cortesía del fotoperiodista Canindé Soares, 2013.

Figura C5 - El contraste entre la década de 1940 y el año de 2013 en la ciudad de Natal



Natal década de 1940. Foto Archivo Jaeci



Natal 2013, Fuente: cortesía fotoperiodista canindé Soares.

APÉNDICE D - EQUIPO DE INVESTIGACION Y LOS INSTRUMENTOS

Figura D1 - Equipo que participaron de los transectos y los instrumentos



Fuente: Elaboración propia.

Figura D2 - El coche "Fusca branco" utilizado en los trabajos de campo, 2011



El coche "*Fusca Branco*" prestado por el Profesor Mauro Lemuel que nos ayudó durante los trabajos de campo.

Fuente: Elaboración propia.



Figura D3 - Bandera de la ciudad de Nata, Brasil

Esta tesis doctoral ha seguido un proceso
de revisión lingüística de la
Oficina de Asesoría Lingüística (OAL)
Fundación Universidad Autónoma de Madrid.

Facultad de Filosofía y Letras
Módulo 1 / Planta baja / Despacho 102
Avenida Tomás y Valiente, 1
Campus de Cantoblanco
28049 Madrid
T. 91 497 21 41 — 620 10 15 37
oal@fuam.es — www.uam.es/oal